



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

NÁVRH PŘEDPJATÉ MOSTNÍ KONSTRUKCE

DESIGN OF PRESTRESSED BRIDGE STRUCTURE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Juraj Sečkář

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. LADISLAV KLUSÁČEK, CSc.

BRNO 2021



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav betonových a zděných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Juraj Sečkář
Název	Návrh předpjaté mostní konstrukce
Vedoucí práce	doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Situace, příčný a podélný řez, geotechnické poměry podle mapy

Základní normy:

ČSN 736201: Projektování mostních objektů

ČSN 73 6214: Navrhování betonových mostních konstrukcí

ČSN EN 1990 včetně změny A1: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991-2: Zatížení mostů dopravou

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1992-2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady

Literatura: na základě doporučení vedoucím práce

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Zpracujte dvě až tři studie mostu včetně jejich zhodnocení.

Dále preferujte návrh monolitické konstrukce z předpjatého betonu. Most můžete navrhnout kolmý.

Dimenzování proveďte podle EN v rozsahu stanoveném vedoucím práce.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje zprávu a ostatní náležitosti podle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

P1. Podklady, studie a vizualizace

P2. Přehledné a podrobné výkresy zvoleného návrhu mostu

P3. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím práce)

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x)

Popisný soubor závěrečné práce (1x)

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě a pro ÚBZK 1x na CD.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

ABSTRAKT

TATO BAKALÁŘSKÁ PRÁCE SE ZABÝVÁ NÁVRHEM A POSOUZENÍM SILNIČNÍHO DESKOVÉHO MOSTU O DVOCH POLÍCH. NÁVRH PŘEDPÍNAČÍ SÍLY JE ZPRACOVÁN POMOCÍ METODY VYROVNÁNÍ ZATÍŽENÍ, PŘIČEMŽ TLOUŠŤKA DESKY JE UVAŽOVÁNA V TRINÁSTI VARIANTÁCH. CÍLEM TÉTO BAKALÁŘSKÉ PRÁCE JE ZJISTIT, KTERÁ Z UVEDENÝCH VARIANT JE VHODNÁ K PŘEDEPNUTÍ, A KTERÁ JIŽ NE A NÁSLEDNĚ JEDNU VYBRANOU VARIANTU NADIMENZOVAT.

KLÍČOVÁ SLOVA

DESKOVÝ MOST, PŘEDPÍATÝ BETON, VYROVNÁNÍ ZATÍŽENÍ, NÁVRH, STATICKÝ VÝPOČET, VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

ABSTRACT

THIS BACHELOR THESIS DEALS WITH THE DESIGN AND ASSESSMENT OF A TWO-FIELD ROAD PLATE BRIDGE. THE DESIGN OF THE PRESTRESSING FORCE IS PROCESSED USING THE LOAD COMPENSATION METHOD. THE OBJECTIVE OF THIS BACHELOR THESIS IS TO DETERMINE WHICH OF THE LISTED VARIANTS IS SUITABLE FOR PRESTRESSING, AND WHICH NO LONGER AND SUBSEQUENTLY CHANGE ONE SELECTED VARIANT.

KEYWORDS

PLATE BRIDGE, PRESTRESSED CONCRETE, LOAD COMPENSATION, DESIGN, STATIC CALCULATION, DRAWING DOCUMENTATION

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Juraj Sečkář *Návrh předpjaté mostní konstrukce*. Brno, 2021. 70 s., !!YY!! s. příl.

Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav

betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Návrh předpjaté mostní konstrukce* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 28. 5. 2021

Juraj Sečkář
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Návrh předpjaté mostní konstrukce* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 28. 5. 2021

Juraj Sečkář
autor práce

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce panu Doc. Ing. Ladislavu Klusáčkovi, Csc. za odborné vedení, cenné rady a připomínky v průběhu zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za podporu v průběhu mého dosavadního studia.

OBSAH

ÚVOD

A.1 TECHNICKÁ ZPRÁVA

A.2 PRŮVODNÍ ZPRÁVA KE STATICKÉMU VÝPOČTU

1.NÁVRH MOSTNÍHO OBJEKTU

2.ZATÍŽENÍ

3.MODEL KONSTRUKCE

4.ZATEŽOVACÍ STAVY

5. METODA VYROVNÁNÍ ZATÍŽENÍ

6.MATERIALOVÉ CHARAKTERISTIKY

7.KRYTÍ VÝZTUŽE

8.NÁVRH PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE

9.VNÚTORNÉ SÍLY A KOMBINACE

10.PRÍREZOVÉ CHARAKTERISTIKY

11.ZTRÁTY PŘEDPĚTÍ

12.MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

13.MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

Úvod

Předmětem této bakalářské práce je statický návrh a posouzení deskové konstrukce nového silničního mostu. Jedná se o konstrukci na silnici I/13 Kladrubská spojka. Most převádí komunikaci I/13 přes biokoridor. Práce se skládá ze tří částí a to z technické zprávy, statického výpočtu a výkresové dokumentace.

Cílem této práce je návrh konstrukčního řešení a návrh postupu výstavby. Dále bude proveden statický výpočet dle příslušných norem s návrhem předpětí a betonářské výztuže.

Nosná konstrukce bude posouzena na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti v rozhodujících průřezích podle platných evropských norem.

A.1 TECHNICKÁ ZPRÁVA

Předmětem této dokumentace je návrh nového silničního mostu přes biokorydor s požadovanou šířkou 20.0 m a průchozí výškou 4,50 m. Povrch pod mostem je tvořen úrovní stávajícího terénu.

1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE STAVBY

1.1 Stavba:	Silnice I/13 Kladrubská spojka
Číslo objektu:	SO 203
1.2 Název objektu	Most přes biokoridor v km 2,300
1.3 Okres	Teplice, Ústecký kraj
1.4 Projektant	Juraj Sečkář
1.5 Pozemní komunikace	Silnice I/13
1.6 Přemostřovaná překážka	biokoridor

2 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O OBJEKTU

Jedná se o trvalý mostní objekt. Konstrukce je navržena jako desková betonová o 2 polích s rozpětím 1.pole 18,0 m a 2.pole 18,0 m. Uložení nosné konstrukce je kolmé. Most je navržen jako integrovaný – nosná konstrukce napojená pevně na podpěry. Založení mostu se uvažuje hlubinné na vrtaných velkopřůměrových pilotách.

2.1 Charakteristika mostu

Trvalý, silniční, jednopodlažní nepohyblivý most o 2 polích, směrově nerozdělený, rámová, desková konstrukce.

2.2 Délka mostu $L=45.2$ m

2.3 Rozpětí polí $L = 18$ m

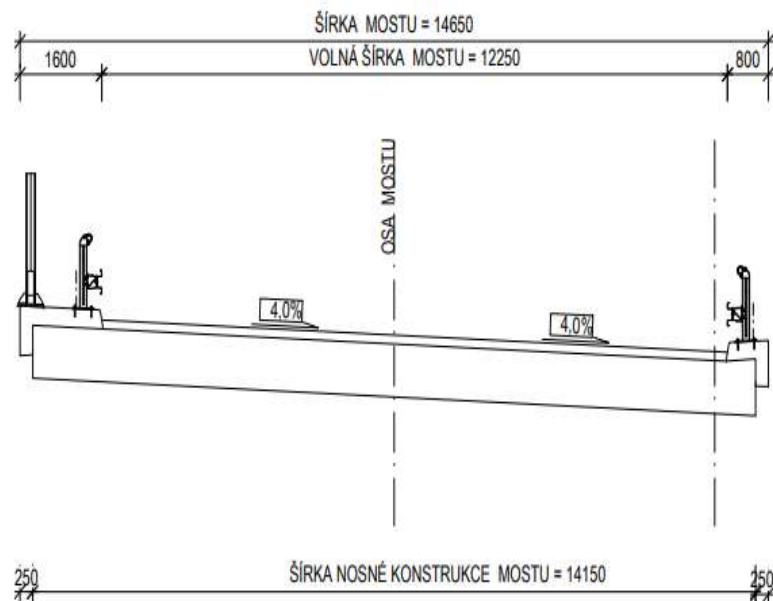
2.4 Šikmost mostu 0

2.5 Šířka mostu $B= 14.65$ m

2.6 Zatížení mostu zatěžovací třída A

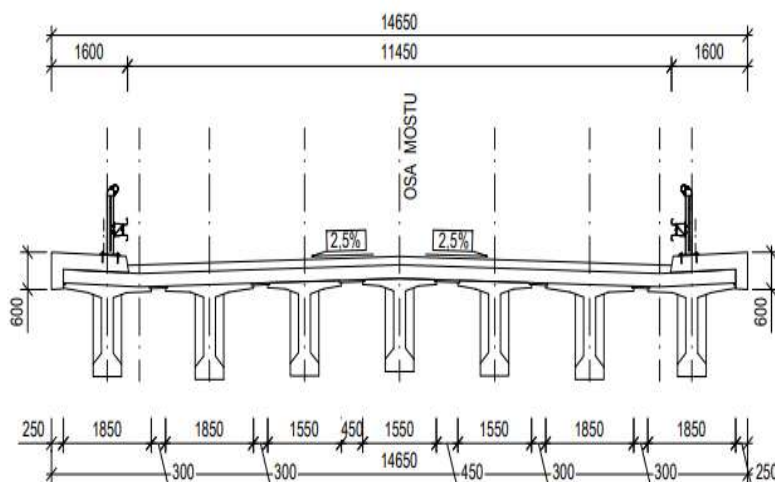
3 VOLBA PRIEČNEHO REZU

VARIANTA A



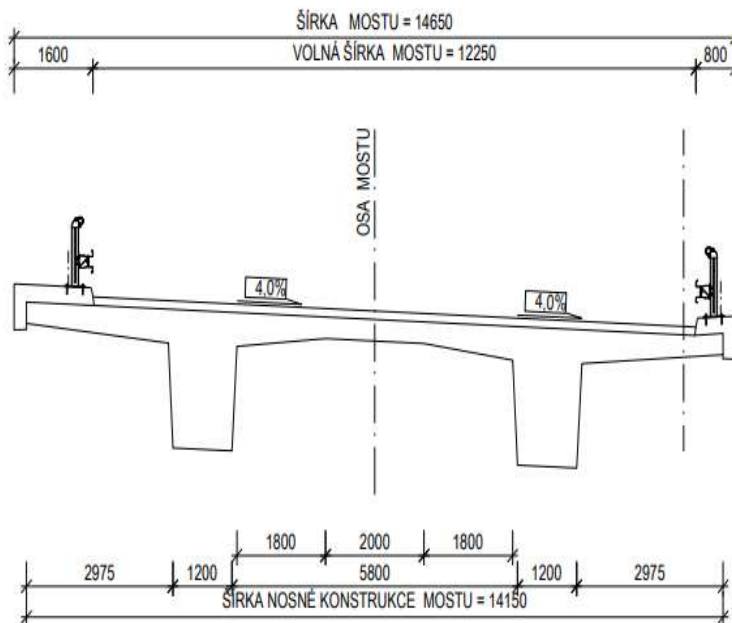
Je to deskova konštrukcia bez nábehov s konštantnou výškou táto varianta bola zvolená k návrhu a posúdenie mezných stavov únosnosti i a použiteľnosti .

VARIANTA B



Varianta b je prefabrikovaná konštrukcia táto varianta nebola použitá k návrhu .

VARIANTA C



Varianta C je konštrukcia dvoutrámová tato konštrukcia nebola použitá k návrhu .

3.1 Založení

Všechny podpěry jsou založeny na systému velkopřůměrových pilot **Ø1200 mm**. Piloty u podpor jsou navrženy o různých délkách v závislosti na geologii.

3.2 Opěry

Opěry jsou navrženy jako monolitické železobetonové a jsou obdélníkového tvaru a s rovnoběžně připojenými křídly.

3.3 Pilíře

Konstrukce má navržený pilíř v strede rozpětí $L/2 = 18,0$ m

3.4 Nosná konstrukce

V podélném směru se jedná o betonový most s rozpětím 36,0 m. Konstrukce je navržena se jednostraným příčným sklonem **4,0%**.

3.5 Uložení NK

Nosná konstrukce je vetknuta do opěr.

3.6 Územní podmínky

Stavba mostu se nachází v Ústeckém kraji, v katastru obce Světlice. Novostavba bude umístěna cca 200,0 m severně od návrší zvaného Morový pahorek a 210,0 m jihozápadně od okraje obce Světlice. Území v místě stavby je kopcovité, užívané pro potřeby polního hospodářství.

3.7 Geotechnické podmínky

Dle pasportu pro mostní objekt SO 203 tvoří kvarterní pokryv deluviální sedimenty mocnosti 0,30 – 2,0 m, charakteru hlín písčitých (F3/MS) pevné konzistence, podružně charakteru hlín se střední plasticitou (F5/MI) a jílu s velmi vysokou plasticitou (F8/CV), tuhé až pevné konzistence.

Podzemní voda průlinová v terciérních zeminách byla naražena a ustálena v hloubce 4,0 – 6,6 m pod terénem.

A.2 SPRIEVODNÁ SPRÁVA K STATICKÉMU VÝPOČTU

1 NÁVRH MOSTNÉHO OBJEKTU

1.1 Nosná konštrukce

Nosná konštrukcia mostu je tvorná spojitou deskou o dvoch polích . Prvé pole má dĺžku 18 m a druhé pole má dĺžku 18 m . Celé rozptatie mostu je $L = 36$ m

Výška desky bola navrhnutá podľa vzťahu v Tab. 1. pre Spojitú rámovú konštrukciu

$$1/20 - 1/30 L = 0.9 \text{ m} - 0.6 \text{ m}$$

Druh nosné konštrukce	Tloušťka konštrukce	Rozpětí
Deskový most (pružez plný nebo vylehčený dutinami)	max. $1/50L$	max. 40 m
Spojitá rámová konštrukce	$1/20 - 1/30 L$	20 - 40 m
Trámová konštrukce s náběhy	$1/30 - 1/60 L$	may. 300 m

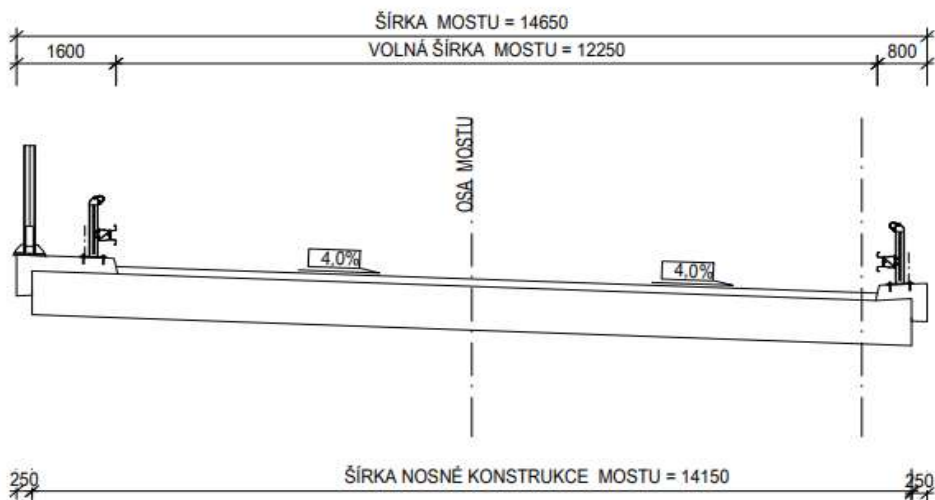
Tab. 1: Optimálne výšky staticky neurčitých konštrukcií v závislosti na rozpětí

Pre návrh pomocou metódy vyrovnání zatížení bola zvolená výška desky $h = 1.0$ m a od tejto hodnoty bolo odvodený ďalších 13 variant výšky desky .

Je to tak preto lebo sa zistovalo pomocou výšky desky veľikost predpínacej síly .

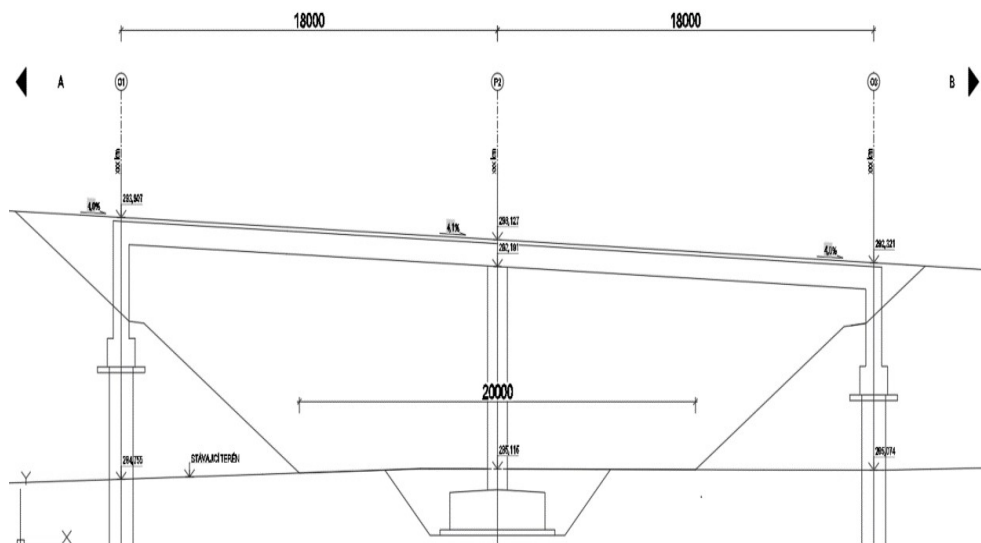
1.2 Priechne usporiadanie mostu

Cez most je prevádzaná pozemná komunikácia S 11,5 voľná šírka mostu je 12.25 m a jednostranný sklon 4 % smerom k okraju vozovky a podélny sklon je uvažovaný 4%



Obr. 1: Priechny rez mostom

1.3 Podélný rez mostom



Obr. 2: Podélný rez mostom

V tejto bakalárskej práci není súčasťou spracovanie návrh a riešenie spodnej stavby

1.4 Mostný svršok

1.4.1 Vozovka

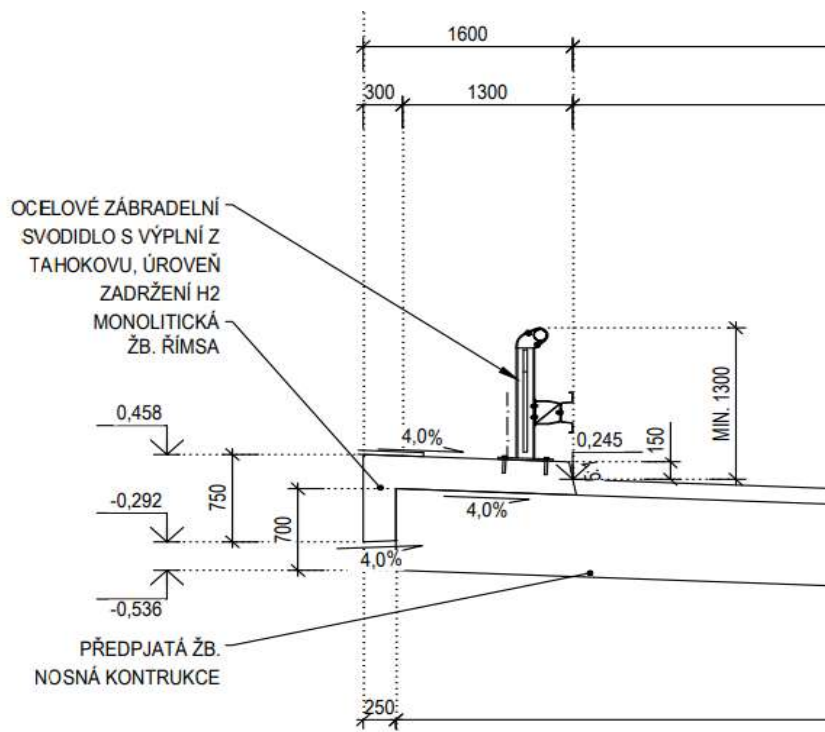
Súčasťou objektu mostu je vozovka na moste.

Konstrukcia vozovky na moste je navrhena podľa ČSN 73 6242 pre triedu dopravného zataženia IV. Na moste je navrhnutá vozovka trojvrstvá tl. 135 mm (s izoláciou) v zložení

ACO 11 50/70	ČSN EN 13108-1	40 mm
(pozn. Obrusná vrstva podľa návaznej silničnej časti)	ČSN 73 6121	
PS-E-0.35kg/m ²	ČSN 73 6129, ČSN EN 13808	
ACL 16 + 50/70	ČSN EN 13108-1	50 mm
	ČSN 73 6121	
PS-E 0.30kg/m ²	ČSN 73 6129, ČSN EN 13808	
posyp predobalenou drtí frakce 4/8	ČSN 73 6121	
MA 16 IV 20/30	ČSN EN 13108-6	40 mm
Celoplošná izolácia natavované AIP na pečetici vrstvu	AIP (Tab. 4 ČSN 73 6242)	5 mm

CELKEM konstrukcie vozovky s izoláciou

135 mm



Obr. 3:Detail mostného svršku

1.4.2 Rímsy

Rímsy sú navrhnuté monoliticky železobetonové z betonu C 30/37–XF4+XD3 s výstuží z oceli B500 B podľa ČSN 42 0139. Výstuž bude vyrobená v súhlade s VL4.

Horný povrch je v sklone 4% smerom k vozovke

Lavá rímsa má šírku 1,6 m, pravá rímsa je široká 0,80 m

Do ľavej aj pravej rímsy je ukotvené ocelové svodidlo pre úroveň zadržania H2 a zábradlí.

Výška obrubníku je 150 mm

1.4.3 Bezpečnostné zariadenie na moste

Podľa TP 114 a TP 203. Podľa TP 114 a TP 203. Výška svodidla je minimálne 1300 mm

1.4.4 Odvodnenie

Most je odvodnený pomocou podélného a priečného sklonu po povrchu vozovky podél ríms kde je vytvorený odvodňovací priekáž. Z odvodňovacieho priekážu je voda odvádená pomocou mostného odvodňovača. Odvodňovače budú vybavené lapačom splavín.

2. Zatažení

2.1 stáله zatažení

Medzi stáله zložky zatažení na moste som uvažoval s vlastnou tiahou nosnej konštrukcie a tak isto s ostatným stálým zatažením .

2.1.1 Vlastná tiaha nosnej konštrukcie

Bola vygenerovaná vo výpočetnom program Midas Civil a taktiež bola spočítaná z objemovej tiaže betu 25 kN/m³ a za pomoci priečných rozmerov desky podľa danej varianty

Vlastní tíha - beton						
Označ.	Popis	A	γ	q	L	G
		[m ²]	[kN/m ³]	[kN/m]	[m]	[kN]
G ₀	Deska	9.891	25.000	247.283	36.000	8902.17

Tab. 2: Vlastná tíha posobiaca na celú dĺžku konštrukcie pre variantu h= 0.7 m

2.1.2 Zatažení vozovkovým súvrstvím

Zatažení vozovkovým súvrstvím je uvažované rovnomerným zatažením po celej ploche desky. Zatažení je prepočítané na 1m² desky

Výpočet ostatního stálého zatížení - vozovka						
Označ.	Popis	tl.	γ	q	b	f
		[m]	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[m]	[kN/m]
G ₁	Vozovka	0.135	22.000	2.970	12.250	36.383

Tab. 3: Ostatní stáله zatažení od vozovkového souvrství

2.1.3 Zatažení od ríms

Vlastná tiaž ríms je určená pomocou plochy rímsy zistenú v programu Autocad a nasledne je tato plocha vynásobená objemovou tiahou betonu $\gamma_c = 25 \text{ kN} \cdot \text{m}^3$

Výpočet ostatního stálého zatížení - rímsy					
Označ.	Popis	A	γ	f	
		[m ²]	[kN/m ³]	[kN/m]	
G ₁	Římsa levá	0.57	25.000	14.198	
G ₁	Římsa pravá	0.32	25.000	8.093	

Tab. 4: Ostatní stáله zatažení od obou ríms

2.1.4 Zataženie od bezpečnostného zariadenia na moste

Zataženie som uvažoval odhadom 1.0 kN/m

Výpočet ostatního stálého zatížení - vybavení					
G ₁	Svodidlo levé	-	-	1.000	
G ₁	Svodidlo pravé	-	-	1.000	
Výpočet ostatního stálého zatížení - zábradlí					
Označ.	Popis	L	f		
		[m]	[kN/m]		
G ₁	Zábradlí levé	36.80	1.000		
G ₁	Zábradlí pravé	36.80	1.000		

Tab. 5: Ostatní stáe zataženie od vybavení na moste

Po sčítaní celého ostatného stálego zataženia na moste dostávame hodnotu 62.73 kN/m

2.2 Zataženie od dopravy

Konstrukcia je navrhnutá na zataženie dopravou podľa eurupskej normy ČSN EN 1991-2 „Zatížení konstrukcí, Část 2: Zatížení dopravou“.

Poznáme 4 zatažovacie schémata

- * zatažovacie schéma **LM1**
- * zatažovacie schéma **LM2**
- * zatažovacie schéma **LM3**
- * zatažovacie schéma **LM4**

Pre vyhodnotenie zvislých pohyblivých zatažení od dopravy bol použitý modul (moving load) ktorý je súčasťou programu MIDAS Civil

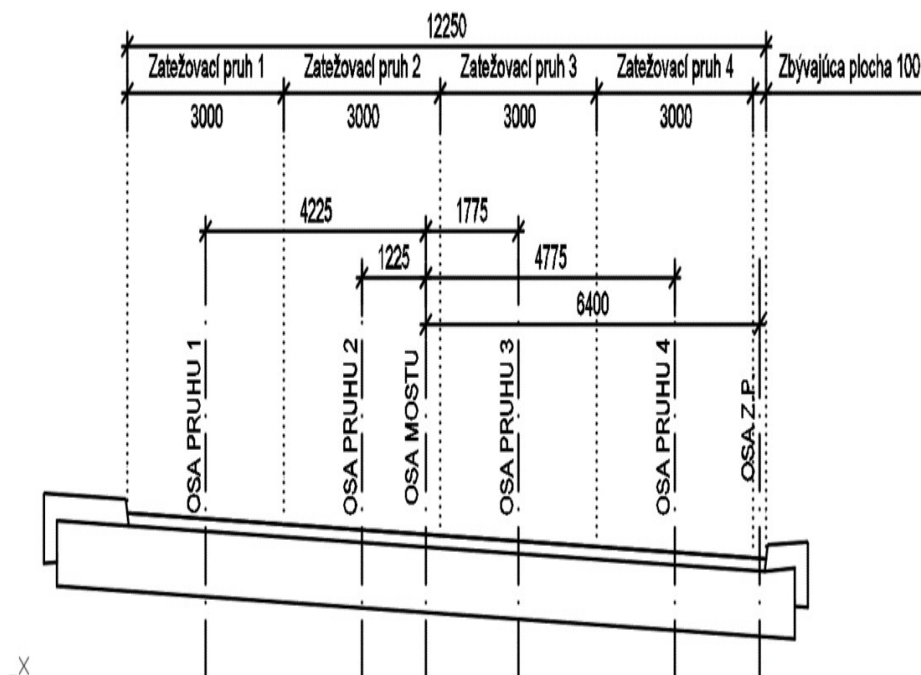
Pre jednotlivé pruhy zataženia som definoval dráhu ktorá vyznačuje ich smerové riešenie .

Funkcia moving load dokáže pruhy zamenit tak aby bolo dosiahnute extrémneho zatažovacieho stavu pre konkrétny prvok konštrukcie

Dynamické súčinitele boli uvažované podľa ČSN EN 1991-2

2.2.1 Rozdělení vozovky do zatažovacích pruhů

Vozovka byla rozdělena na 4 pruhy šířky 3,0 m a zbývající plochu šířky 0,25 m dle obrázku.



Obr. 4 Schéma rozdělení vozovky do zatažovacích pruhů

2.2.2 Zatažovací schéma LM1

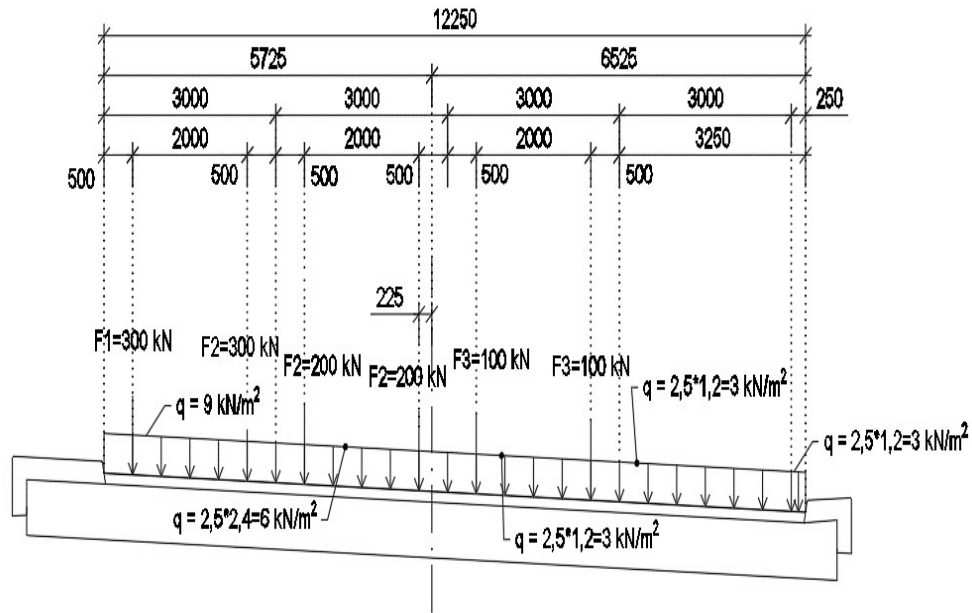
Model zatažení LM1 se skládá z soustředěných zátěží které nazýváme TS - Tandem Systém a rovnoměrných zátěží které se volají také UDL - uniformly distributed load
Tieto zatažení zahrnujú veľkú časť účinkov dopravy

Umístění	Dvojnáprava (TS)	Rovnoměrné zatížení (UDL)
	Q_k [kN]	q_k [kN/m ²]
Pruh č. 1	300	9,0
Pruh č. 2	200	2,5
Pruh č. 3	100	2,5
Ostatní pruhy	0	2,5
Zbývající plocha (q_{rk})	0	2,5

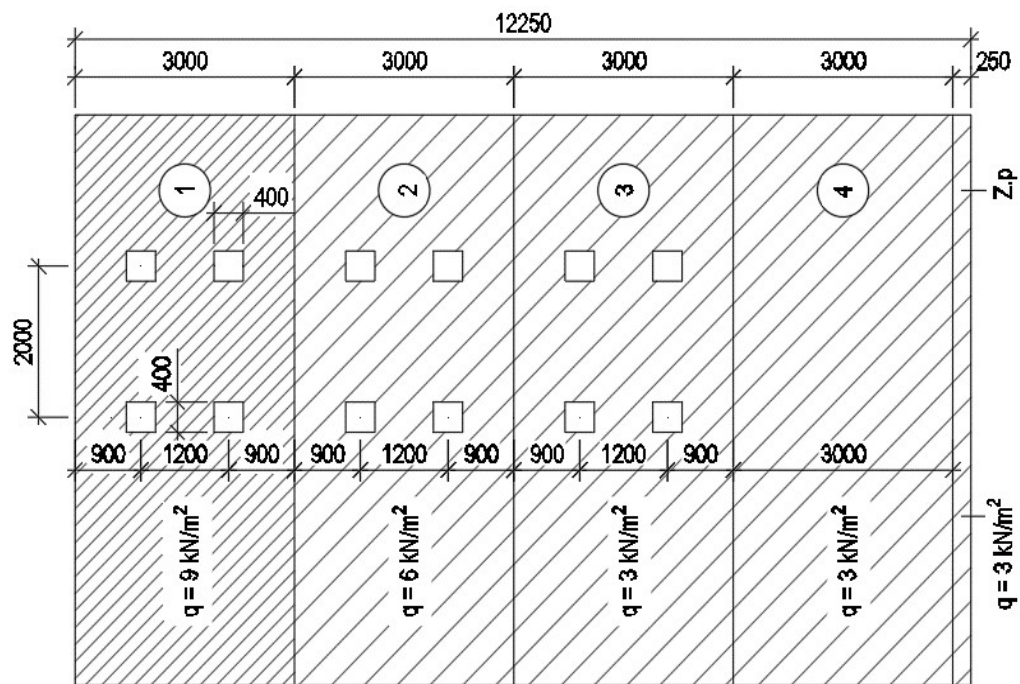
Tab. 6: Charakteristické hodnoty modelu zatažení LM1

Skupina pozemních	α_{Q1}	α_{Q2}	α_{Q3}	α_{q1}	α_{q2}	$\alpha_{qi} (i \geq 2)$ a α_{qr}
1	1,0	1,0	1,0	1,0	2,4	1,2
2	0,8	0,8	0,8	0,45	1,6	1,6

Tab. 7: Hodnota regulačních součinitelů alfa pro ČR



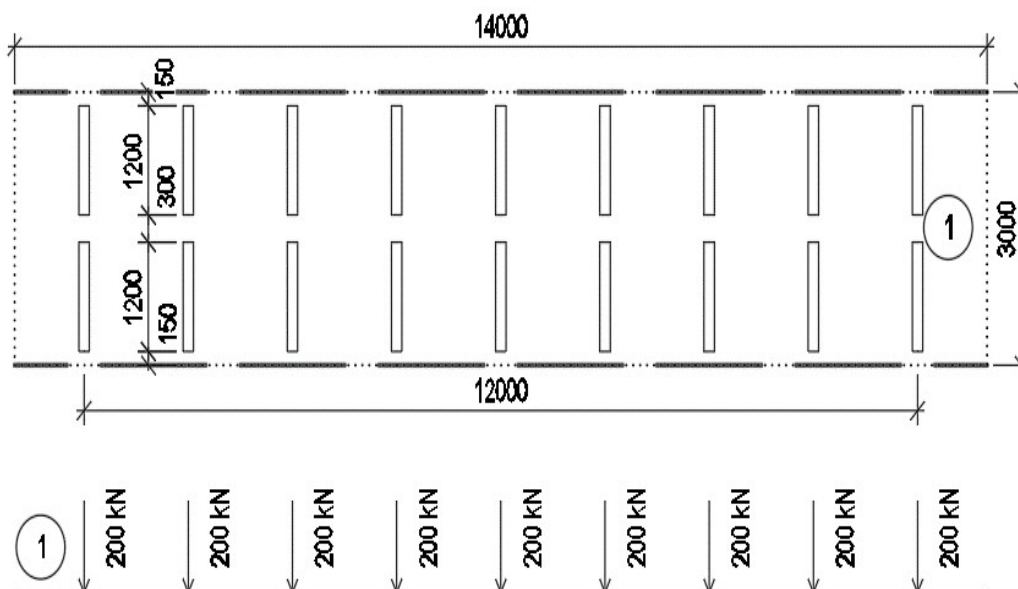
Obr. 5 Rozmiestnenie Tandem systém



Obr. 6 Rozmiestnenie UDL zataženia

2.2.3 Zatažovacie schéma LM3

Model zataženie LM3 je zložený z sustav nápravových síl ktoré reprezentujú zvláštne vozidla



Obr. 7 Rozmiestnenie LM3 - Zvláštní vozidlo označení 1800/200

Na komunikácií riešenu v bakalárskej práci bol vybraný zvláštny model zataženia 1800/200 ktorý znamená 9 náprav po 200 kN.

2.2.4 Zostavy zataženia

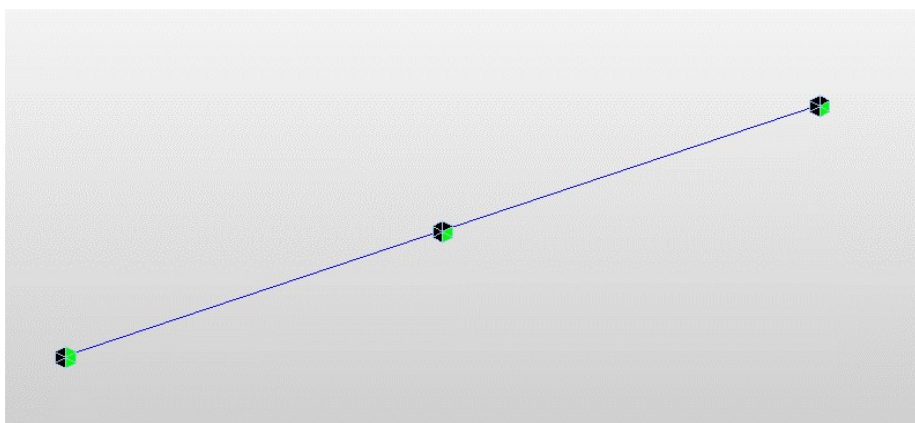
Na riešenej komunikácií počítame s modelom LM1 a LM3 , teda použijeme sestavy gr1a a gr5 Tieto kombinácie boli už rovno vygenerované v programe Midas Civil .

3. Model konstrukce

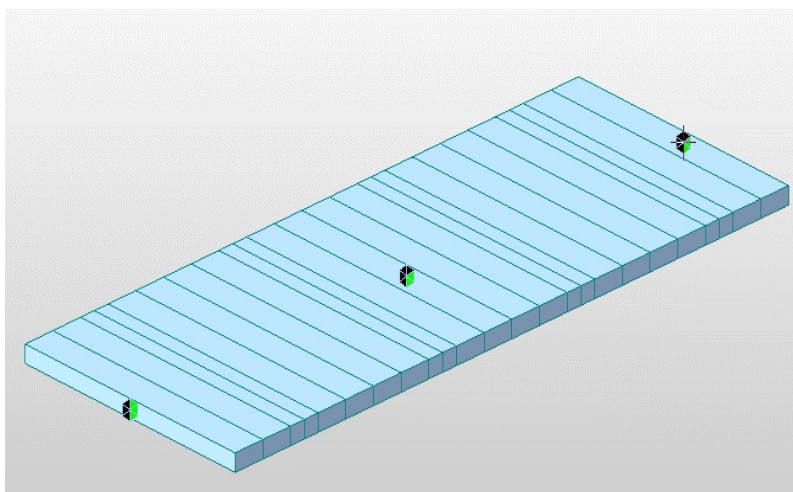
Výpočet vnitřních sil bol zrealizovaný na prutovém modelu v programu MIDAS Civil
Rozpětí konstrukce bolo uvažované v ose mostu $18.0+18.0 = 36.0$ m

3.1 Popis modelu

Nosná konštrukcia bola vymodelovaná prutovým prvkom ktorý znazornuje tvar deskovej konštrukcie
Model bol udelaný pre všetkých 13 variant při získanie momentov od stáleho zataženia , ostatného stáleho zataženia a od zatažení od dopravy



Obr. 8 Model konstrukce - axonometria obou polí



Obr. 9 Model konstrukce

4. Zatežovacie stavy

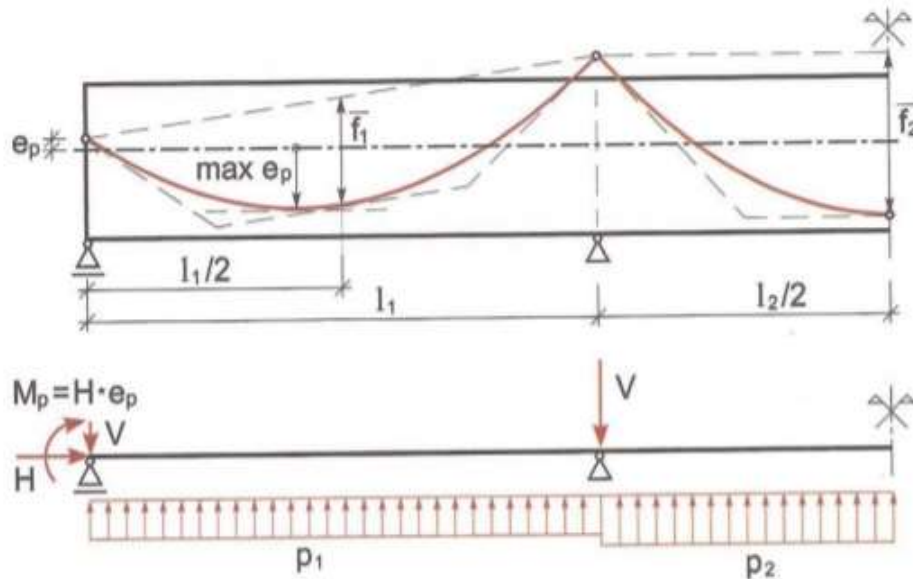
Uvažoval som 4 zatažovacie stavy

- 1 Vlastná tiaž desky
- 2 Ostatné stále zataženie
- 3 LM1
- 4 LM3

5. Metoda vyrovnání zatažení

V tejto bakalárskej práci som mal za úkol zrealizovať pomocou metódy vyrovnania zataženia je tiež nazývaná metóda ekvivalentného zataženia

Vyrováva sa s nou 80 až 90% zatažení stálých pomocou ekvivalentných zatažení od parabol v poli Paraboly nad podporou z ktorých vznikajú radiálne sily idú priamo do podpory



Obr. 10 Skutočné vedenie kabela

Při predbežnom návrhu je hodnota ekvivalentného zataženia vyrovnaná na 90 % stáleho zataženia. Táto podmienka bola obmedzená ešte druhou podmienkou a to zvolením priemerného napätia na konštrukcii.

1. PODMIENKA

$$p = \frac{(-)8 \cdot f \cdot P}{L^2} = P = \frac{L^2 \cdot P}{8 \cdot f}$$

$$P = \frac{0.9 \cdot (g_0 + g_{1k}) \cdot L^2}{(-) \cdot 8 \cdot f}$$

Z tejto podmienky dostaneme veľkosť Predpínacej sily při roznych výškach desky

2. PODMIENKA

$$\sigma_{c(g_0, g_{1k}, p)} > 0.15f_{ck}, 0.2f_{ck}, 0.225f_{ck}, 0.30f_{ck}, 0.35f_{ck}$$

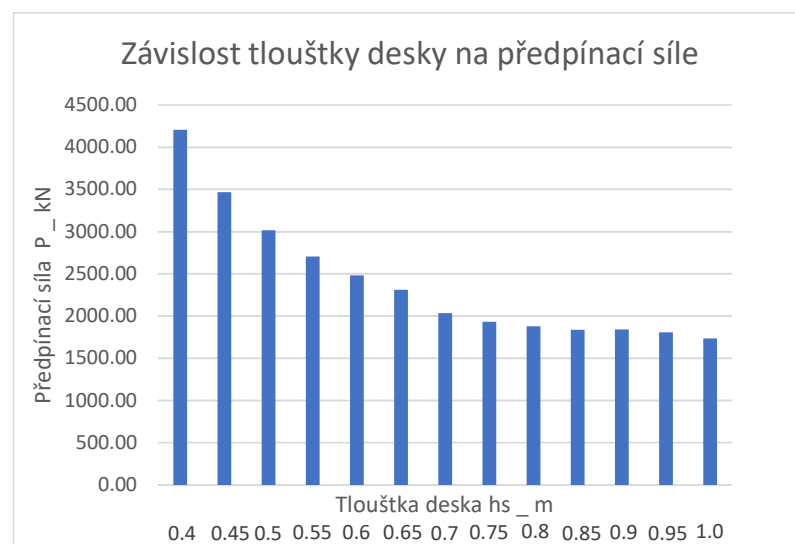
Tieto 2 podmienky boli aplikované na 13 - tich variantách výšky desky a to na 0.4 m, 0.45 m, 0.5 m, 0.55 m, 0.6 m, 0.65 m, 0.7 m, 0.75 m, 0.8 m, 0.85 m, 0.9 m, 0.95 m a 1.0 m

U každej z týchto variant bolo spočítané zataženie od vlastnej tiaže a ostatného stáleho zataženia na 1 m. Tak isto boli spočítané prierezové charakteristiky na výsek 1m desky plného prierezu.

U tejto metódy som zistil, že čím je nižšia výška dosky, tým je potreba väčšia predpínací síla.

$$\begin{aligned}
 p &= \frac{(-)8 \cdot f \cdot P}{L^2} & P &= \frac{L^2 \cdot p}{8 \cdot f} \\
 A &= h_s \cdot b = 0.7 \cdot 14.15 = 9.905 \text{ m}^2 \\
 g_{ok} &= \frac{A \cdot y}{b d} = \frac{9.905 \cdot 25}{14.15} = 17.5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \\
 g_{1k} &= \frac{g_{1k}}{b d} = \frac{62.73}{14.15} = 4.43 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1} \\
 P &= \frac{0.9 \cdot (g_0 + g_{1k}) \cdot L^2}{(-) \cdot 8 \cdot f} = \frac{0.9 \cdot (17.5 + 4.43) \cdot 18^2}{(-) \cdot 8 \cdot 0.393} = 2035.6 \text{ kN} \\
 I_y &= \frac{1 \cdot b \cdot h^3}{12} = \frac{14.15 \cdot 0.7^3}{12} = 0.404 \text{ m}^4 \\
 w_h &= \frac{I_y}{t_{yh}} = \frac{0.404}{-0.35} = -1.156 \text{ m}^3 \\
 w_d &= \frac{I_y}{t_{yd}} = \frac{0.404}{0.35} = 1.156 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Výpočet pre $h = 0.7 \text{ m}$



Graf. 1 Závislost výšky desky na předpínací síle

PREDBEŽNÝ NAVRH PREDPETI _1_ PODMÍNKA

b_m	h_m	A/bd_m	A_m ²	t_x_l_m	t_x_p_m	t_y_h_m	t_y_d_m
14.15	0.4	0.4	5.66	7.075	7.075	-0.2	0.2
14.15	0.45	0.45	6.3675	7.075	7.075	-0.225	0.225
14.15	0.5	0.5	7.075	7.075	7.075	-0.25	0.25
14.15	0.55	0.55	7.7825	7.075	7.075	-0.275	0.275
14.15	0.6	0.6	8.49	7.075	7.075	-0.3	0.3
14.15	0.65	0.65	9.1975	7.075	7.075	-0.325	0.325
14.15	0.7	0.7	9.905	7.075	7.075	-0.35	0.35
14.15	0.75	0.75	10.6125	7.075	7.075	-0.375	0.375
14.15	0.8	0.8	11.32	7.075	7.075	-0.4	0.4
14.15	0.85	0.85	12.0275	7.075	7.075	-0.425	0.425
14.15	0.9	0.9	12.735	7.075	7.075	-0.45	0.45
14.15	0.95	0.95	13.4425	7.075	7.075	-0.475	0.475
14.15	1	1	14.15	7.075	7.075	-0.5	0.5

f_m	e_m	eb_m	Y_kN,m-3	gok_kN,m-1	g1k_kN,m-1	gk_kN,m-1	0,9gk_kN,m-1	p_kN,m-1
0.125	0.11	0.123	25	10	4.433	14.433	12.990	-12.990
0.165	0.135	0.153	25	11.25	4.433	15.683	14.115	-14.115
0.205	0.16	0.183	25	12.5	4.433	16.933	15.240	-15.240
0.245	0.185	0.213	25	13.75	4.433	18.183	16.365	-16.365
0.285	0.21	0.244	25	15	4.433	19.433	17.490	-17.490
0.326	0.235	0.276	25	16.25	4.433	20.683	18.615	-18.615
0.393	0.26	0.308	25	17.5	4.433	21.933	19.740	-19.740
0.437	0.285	0.340	25	18.75	4.433	23.183	20.865	-20.865
0.474	0.31	0.373	25	20	4.433	24.433	21.990	-21.990
0.510	0.335	0.407	25	21.25	4.433	25.683	23.115	-23.115
0.534	0.36	0.441	25	22.5	4.433	26.933	24.240	-24.240
0.569	0.385	0.475	25	23.75	4.433	28.183	25.365	-25.365
0.618	0.41	0.510	25	25	4.433	29.433	26.490	-26.490

P_kN	ly_m ⁴	wh_m ³	wd_m ³
4208.524	0.075	-0.377	0.377
3470.123	0.107	-0.478	0.478
3015.451	0.147	-0.590	0.590
2705.869	0.196	-0.713	0.713
2481.361	0.255	-0.849	0.849
2310.833	0.324	-0.996	0.996
2035.601	0.404	-1.156	1.156
1931.917	0.497	-1.327	1.327
1880.655	0.604	-1.509	1.509
1836.551	0.724	-1.704	1.704
1839.457	0.860	-1.910	1.910
1805.444	1.011	-2.128	2.128
1734.711	1.179	-2.358	2.358

g1k	62.73	kN/m
l	18	m

Vyplyvá, že předpínací síla P roste se
snižující se tloušťkou desky
hs, Je to způsobeno zmenšujícími se
radiálními účinky od ekvivalentního zatížení,
zmenšuje se vzepětí parabol

Tab. 8 Výpočet předpínací síly

PREDBEŽNÝ NAVRH PREDPETI _1_ PODMÍNKY	
REAKCE	
Obecná funkce paraboly	$y' = -((8*f/L^2)*x) + (((4*f)+e)/L)$
Směrnice funkce paraboly	$y = -((4*f/L^2)*x^2) + (((4*f)+e)/L)*x + (epa)$

h_m	P_kN	ea=ec	eb_m	e	L	f_m
0.4	4208.524	0	0.123	-0.123	18	0.125
0.45	3470.123	0	0.153	-0.153	18	0.165
0.5	3015.451	0	0.183	-0.183	18	0.205
0.55	2705.869	0	0.213	-0.213	18	0.245
0.6	2481.361	0	0.244	-0.244	18	0.285
0.65	2310.833	0	0.276	-0.276	18	0.326
0.7	2035.601	0	0.308	-0.308	18	0.393
0.75	1931.917	0	0.340	-0.340	18	0.437
0.8	1880.655	0	0.373	-0.373	18	0.474
0.85	1836.551	0	0.407	-0.407	18	0.510
0.9	1839.457	0	0.441	-0.441	18	0.534
0.95	1805.444	0	0.475	-0.475	18	0.569
1	1734.711	0	0.510	-0.510	18	0.618

f/L			x	Sklon tečny x=0	α alfa
0.007	<	0.067	0	0.021	1.199
0.009	<	0.067	0	0.028	1.612
0.011	<	0.067	0	0.035	2.025
0.014	<	0.067	0	0.043	2.440
0.016	<	0.067	0	0.050	2.857
0.018	<	0.067	0	0.057	3.276
0.022	<	0.067	0	0.070	4.021
0.024	<	0.067	0	0.078	4.486
0.026	<	0.067	0	0.084	4.841
0.028	<	0.067	0	0.091	5.195
0.030	<	0.067	0	0.094	5.392
0.032	<	0.067	0	0.100	5.732
0.034	<	0.067	0	0.109	6.251

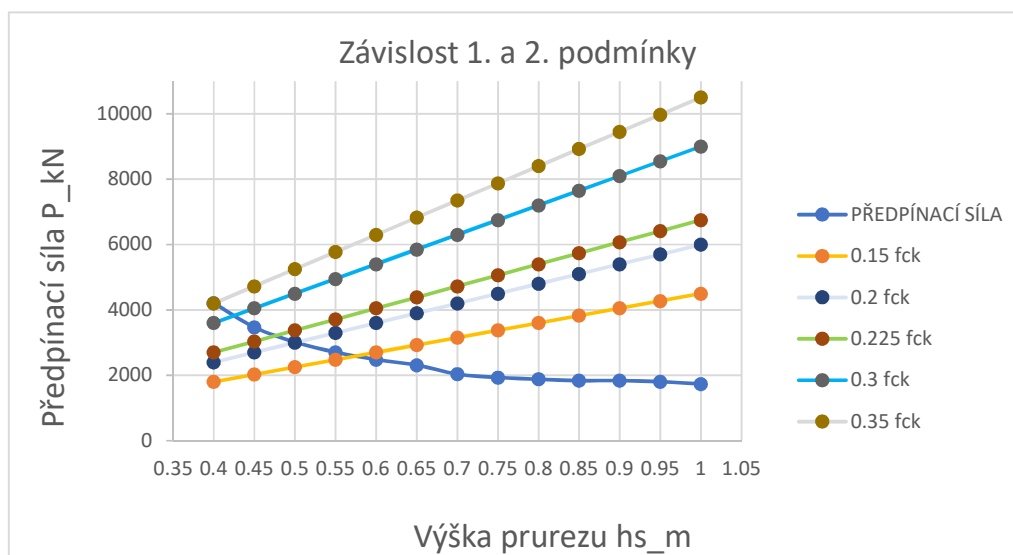
x'	Sklon tečny x=L	β beta	Ra=Rc	Rb	p_kN,m-1
18	-0.035	-1.984	-88.089	-291.388	-12.990
18	-0.045	-2.583	-97.598	-312.809	-14.115
18	-0.056	-3.187	-106.548	-335.323	-15.240
18	-0.066	-3.797	-115.214	-358.377	-16.365
18	-0.077	-4.412	-123.700	-381.756	-17.490
18	-0.088	-5.032	-132.065	-405.340	-18.615
18	-0.104	-5.980	-142.734	-424.162	-19.740
18	-0.116	-6.653	-151.100	-447.620	-20.865
18	-0.126	-7.218	-158.708	-472.590	-21.990
18	-0.136	-7.785	-166.290	-497.566	-23.115
18	-0.143	-8.199	-172.851	-524.628	-24.240
18	-0.153	-8.757	-180.312	-549.763	-25.365
18	-0.166	-9.498	-188.873	-572.509	-26.490

Tab. 9 Výpočet ekvivalentního zatížení

C30/37					
fck	30	Mpa			
0,15fck	0.15	4500 Mpa			
0,2fck	0.2	6000 Mpa			
0,225fck	0.225	6750 Mpa			
0,3fck	0.3	9000 Mpa			
0,35fck	0.35	10500 Mpa			

	0,15fck	0,2fck	0,225fck	0,3fck	0,35fck
h_m	P_kN	P_kN	P_kN	P_kN	P_kN
0.4	1800	2400	2700	3600	4200
0.45	2025	2700	3037.5	4050	4725
0.5	2250	3000	3375	4500	5250
0.55	2475	3300	3712.5	4950	5775
0.6	2700	3600	4050	5400	6300
0.65	2925	3900	4387.5	5850	6825
0.7	3150	4200	4725	6300	7350
0.75	3375	4500	5062.5	6750	7875
0.8	3600	4800	5400	7200	8400
0.85	3825	5100	5737.5	7650	8925
0.9	4050	5400	6075	8100	9450
0.95	4275	5700	6412.5	8550	9975
1	4500	6000	6750	9000	10500

Tab. 9 Napatia



Graf 2: Vyhodnocení první a druhé podmínky předběžného návrhu

Z grafu je možné vyčíst, že jako optimální návrh desky při splnění daných podmínek by malo být zvoleno průměrné napětí 0,15 fck, tloušťka desky 550 mm a předpínací síla 2750.87 Kn, napětí 0,15 fck, tloušťka desky 550 mm a předpínací síla 2750.87 kN. Na miesto tejto varianty som zvolil tloušťku desky 700 mm a předpínací síla 2035.6 kN. Tato předpínací síla odpovídá lanům na jeden běžný metr desky. Do návrhu byla použita s předpínací výztuže Y 1860 S7 (15,7) od společnosti VSL. Průměr jednoho lana je 15,7 mm, plocha 150 mm² a pevnost 1860 MPa.

6. Materialové charakteristiky

6.1 BETON C30/37

f_{ck}	30	Mpa
f_{cm}	38	Mpa
α_{cc}	0.9	-
γ_c	1.5	-
f_{cd}	18	Mpa
f_{ctm}	2.9	Mpa
$f_{ctk0,05}$	2	Mpa
E_{cm}	32	Gpa
$\epsilon_{cu,3}$	3.5	%

PEVNOST V TLAKU

CHARAKTERISTICKÁ HODNOTA

STREDNÍ HODNOTA

 $\alpha_{cc}=f_{ck}/\gamma_c$

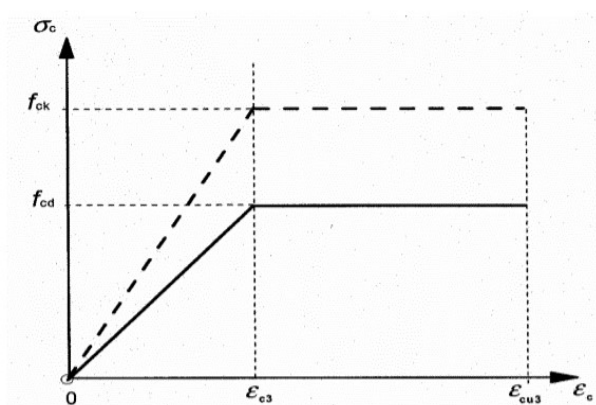
PEVNOST V TAHU

NÁVRHOVÁ PEVNOST

STREDNÍ HODNOTA

STREDNÍ HODNOTA MODULU P,

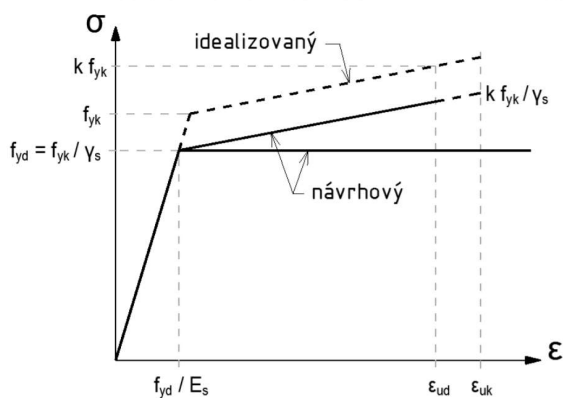
MEZNÍ PRETVORENÍ PRO ÚČINKY ZATÍŽENÍ



Obr. 10 Pracovní diagram betonu

6.2 BETONÁRSKA VÝZTUŽ B 500 B

f_{yk}	500	Mpa
E_s	200	Gpa
γ_s	1.15	-
f_{yd}	434.7826	Mpa

 $f_{yd}=f_{yk}/\gamma_s$ 

Obr. 11 Pracovní diagram B 500 B

6.3 Předpínací výztuž Y 1860 S7 (15,7)

f_{pk}	1860	Mpa
$f_{p0,1k}$	1640	Mpa
γ_s	1.15	-
f_{pd}	1426.087	Mpa
E_p	195	Gpa
\varnothing_{lano}	15.7	mm
$A_{p,1(lano)}$	150	mm ²

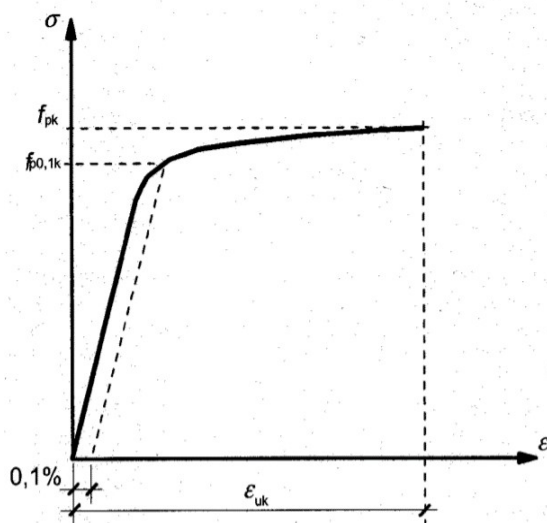
CHARAKTERISTICKÁ PEVNOST

SMLUVNÍ MEZ KLUZU

 $f_{pd} = f_{p0,1k} / \gamma_s$

NÁVRHOVÁ PEVNOST

LANO S NÍZKOU RELAXACÍ



Obr.12 Pracovní diagram Předpínací výztuže

7. Krytí výztuže

Betonová krycí vrstva je definovaná jako vzdálenost mezi povrchem výztuže a nejbližším povrchem betonu

7.1 Předpínací výztuž

VÝPOČET KRYCÍ VRSTVY - PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ		
NÁVRHOVÁ ŽIVOTNOST	100	LET
KOROZE VYVOLÁNA KARBONACÍ	XC4	
PEVNOSTNÍ TŘÍDA	C30/37	
STUPEŇ VLIVU PROSTŘEDÍ	XF4, XD1	
TŘÍDA KONSTRUKCE	S6	

$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$
$c_{min} = \max (c_{min,b} ; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} ; 10 \text{ mm})$

MINIMÁLNÍ KRYCÍ VRSTVA Z HLEDISKA SOUDRŽNOSTI	$c_{min,b}$	80	mm
MINIMÁLNÍ KRYCÍ VRSTVA Z HLEDISKA PODMÍNEK PROSTŘEDÍ	$c_{min,dur}$	55	mm
PŘÍDAVNÁ BEZPEČNOSTNÍ SLOŽKA	$\Delta c_{dur,y}$	0	mm
REDUKCE MINIMÁLNÍ KRYCÍ VRSTVY PŘI POUŽITÍ NEREZOVÉ OCELI	$\Delta c_{dur,st}$	0	mm
REDUKCE MINIMÁLNÍ KRYCÍ VRSTVY PŘI POUŽITÍ PŘÍDAVNÉ OCHRANY	$\Delta c_{dur,add}$	0	mm
MINIMÁLNÍ KRYCÍ VRSTVA	c_{min}	80	mm
PŘÍDAVKA NA NÁVRHOVÝ ODCHYLKU	Δc_{dev}	10	mm
	c_{nom}	90	mm

CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI PŘEDPÍNACÍCH KABELŮ → 0,6

TYP KABELU	6→12	
POČET LAN V KABELU	10	
ROZMĚR KABELOVÉHO KANÁLKU	70/77	
PRAMENEC 0,6 S 1860 MPA		
PRŮŘEZOVÁ PLOCHA	150	mm ²

Tab.11 VÝPOČET KRYCÍ VRSTVY - PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ

8. NÁVRH PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE

8.1 Maximálne napětí ve výztuži

Napětí působí krátkou dobu a právě preto se v normě uvažuje jeho vysoká maximální přípustná hodnota. Ide o maximálne napětí v predpínacej výztuži ktoré působí při predpínání.

$$\sigma_{P,max} = \min(0,8 \cdot f_{pk}; 0,9 \cdot f_{p0,1k})$$

0,8*f _{pk} =	1488	[Mpa]
0,9*f _{p0,1k}	1476	[Mpa]
min	1476	[Mpa]

f_{pk} je charakteristická hodnota pevnosti předpínací výztuže v tahu

$f_{p0,1k}$ je charakteristická hodnota meze 0,1 předpínací výztuže

8.2 Maximálne napětí po zakotvení

Toto napětí je ovlivněno již v okamžiku předpínání a během zakotvení se po délce kabelu projevují změny předpětí tzv. ztráty okamžité, přesto by však nemělo překročit maximální přípustnou hodnotu.

$$\sigma_{P0,max} = \min(0,75 \cdot f_{pk}; 0,85 \cdot f_{p0,1k})$$

0,75*f _{pk}	1395	[Mpa]
0,85*f _{p0,1k}	1394	[Mpa]
min	1394	[Mpa]

NAPATI V t₀ : odhad 10%

$$\sigma_{Pm,0} = (0,85 - 1,0) \cdot \sigma_{P,max} \leq \sigma_{P,max}$$

1328.4	≤	1394	[Mpa]	Vyhovuje
--------	---	------	-------	----------

NAPATI V t₀₀ : odhad 10%

$$\sigma_{Pm,00} = 0,9 \cdot \sigma_{Pm,0}$$

$\sigma_{Pm,00}$ =	1195.56	[Mpa]
--------------------	---------	-------

f_{pk} je charakteristická hodnota pevnosti předpínací výztuže v tahu

$f_{p0,1k}$ je charakteristická hodnota meze 0,1 předpínací výztuže

8.3 Návrh předpínací výztuže

Návrh předpínacích lan je uveden pro 1m desky.

NÁVRH PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE_0.70m		
P _{mo,req}	2035.601	kN
$A_{p,req} = P_{mo,req} / \sigma_{Pm,0}$		
A _{p,req}	1.532371	m ²
Nutný počet lan na 1m		
$n = A_p / A_{p,1}$		
A _p	1.532371	m ²
A _{p,1}	0.15	m ²
n=	10.2158	lan
Návrh	12	ks
Počet lan v kabelu	6	ks
Počet kabelov	2	ks
Nutný počet lan na celou desku		
$n_c = n * b_d$		
b _d	14.15	m
n _c	144.5536	ks
návrh	150	lan
počet lan v kabelu	6	ks
počet kabelov	25	ks
Skutečná predpínací síla na 1m		
$P_{m,o} = n * A_{p,1}$		
P _{m,0}	2391.12	kN

Tab.12 NÁVRH PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE_0.70m

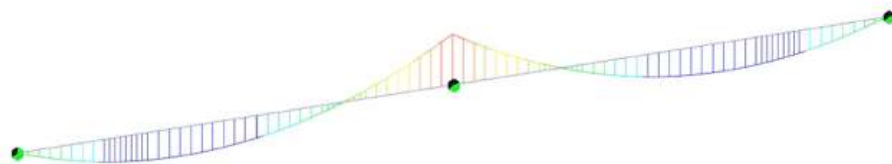
9. Vnitřné síly a kombinace zatížení

9.1. Prehľad maximálnych ohybových momentov v jednotlivých ZS

	Mmax_G0		Mmax_G1		LM1_BEZ PSI		LM1_1 S PSI_M	
h	POLE	PODPORA	POLE	PODPORA	POLE	PODPORA	POLE	PODPORA
m	kN.m	kN.m	kN.m	kN.m	kN.m	kN.m	kN.m	kN.m
0.7	398.9611	-707.979	100.9753	-179.187	456.0919	-359.741	299.3322	-214.172
	LM3_M							
h	POLE	PODPORA						
m	kN.m	kN.m						
0.7	348.1604	-219.479						

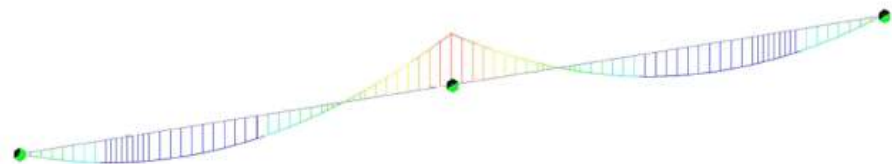
Tab.13 Prehľad maximálnych ohybových momentov v jednotlivých ZS

h	POLE	PODPORA
m	kN.m	kN.m
0.7	5645.3	-10017.9



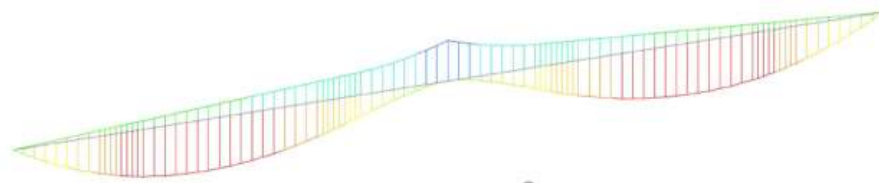
Obr.13 Moment od vlastnej tíhy h=0.7 m

h	POLE	PODPORA
m	kN.m	kN.m
0.7	1428.8	-2535.5



Obr.14 Moment od ostatného stálého zatížení h=0.7 m

h	POLE	PODPORA
m	kN.m	kN.m
0.7	6453.7	-5090.33



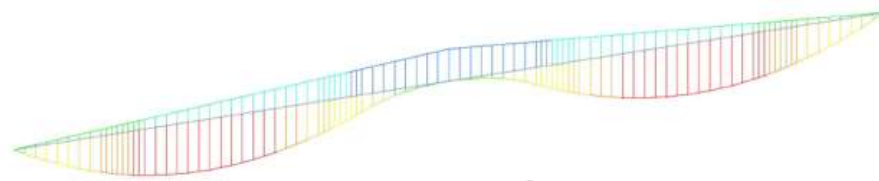
Obr. 15 Moment od LM1_BEZ PSI h=0.7 m

h	POLE	PODPORA
m	kN.m	kN.m
0.7	4235.55	-3030.53

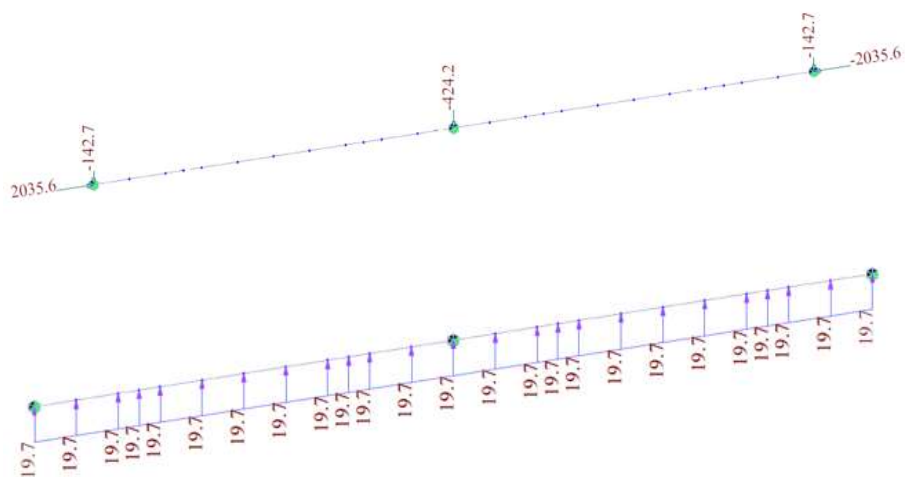


Obr. 16 Moment od LM1_1 S PSI_M h=0.7 m

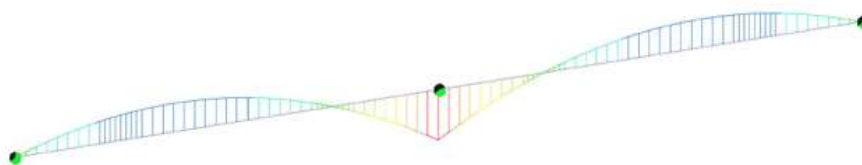
h	POLE	PODPORA
m	kN.m	kN.m
0.7	4926.47	-3105.63



Obr. 17 Moment od LM3_M h=0.7 m



Obr.18 Ekvivalentní zatížení $h = 0.7$ m



Obr.19 Moment od předpětí

9.2. Kombinace zatížení

Dle normy ČSN EN 1990 se uvažují tyto tři kombinace zatížení: charakteristická častá a kvazistálá. Používají se pro výpočty v mezních stavech použitelnosti

V mezním stavu únosnosti se používá návrhová kombinace zatížení.

9.2.1. Charakteristická kombinace zatížení

V této kombinaci se uvažují veškeré účinky na konstrukci, součinitelé se berou rovny 1.

9.2.1. Častá kombinace zatížení

Tato kombinace zatížení počítá jak se stálým zatížením na konstrukci, tak i s proměnným zatížením. Zatížení od dopravy se upravuje součinitelem ϕ_1

U rovnoměrného zatížení UDL od dopravy se součinitel $\phi_1=0.4$

u nápravových sil TS se bere hodnotou $\phi_1 = 0.75$

9.2.3. Kvazistálá kombinace zatížení

Kvazistálá kombinace zatížení uvažuje na konstrukci pouze stálá zatížení

9.2.4. Kvazistálá kombinace zatížení

Dle normy ČSN EN 1990 máme celkem tři návrhové kombinace zatížení

- * 6.1
- * 6.10a
- * 6.10b

	gr1a	TS (DVOJNÁPRAVY)	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
	(LM1+ZATÍŽENÍ CHODCI NEBO	UDL (ROVNOMĚRNÉ ZATÍŽENÍ CHODCI NEBO CIKLISTY			
ZATÍŽENÍ DOPRAVOU (VIZ EN 1911-2, TABULKA 4,4)			0.75	0.75	0
			0.4	0.4	0
			0.4	0.4	0
	gr1b (jednotlivá náprava)		0	0.75	0
	gr2 (vodorovné síly)		0	0	0
	gr3 (zatížení chodci)		0	0.4	0
	gr4 (LM4 (zatížení davem lidí))		0	-	0
	gr5 (LM3 (zvláštní vozidla))		0	-	0
ZATÍŽENÍ VĚTREM	$F_{w,k}$				
	TRVALÉ NÁVRHOVÉ SITUACE		0.6	0.2	0
	PROVÁDĚNÍ		0.8	-	0
	F_w^*		1	-	-
ZATÍŽENÍ TEPLOTOU	T_k		0.6	0.6	0.5
ZATÍŽENÍ SNĚHEM	$Q_{SN,k}$ (BĚHEM PROVÁDĚNÍ)		0.8	-	-
STAVENIŠTNÍ ZATÍŽENÍ	Q_c		1	-	1
Tab.14 Koeficienty pro kombinace					42

9.2.5. Prehľad získaných kombinací

MSP						
hs	CHARAKTERISTICKÁ		ČASTÁ		KVÁZISTÁLÁ	
m	POLE	PODPORA	POLE	PODPORA	POLE	PODPORA
0.7	956.0283	-1246.91	799.2686	-1101.34	499.9364	-887.166

CHARAKTERISTICKÁ	$M_{EK} = M_{EKg0} + M_{EKg1} + M_{EKgr1a}$		
ČASTÁ	$M_{EK\phi1} = M_{EKg0} + M_{EKg1} + \Phi_1 * M_{EKTS} + \Phi_1 * M_{EKUDL} + M_{EKCHOD}$	$\Phi_{1TS} = 0,75$	$\Phi_{1UDL} = 0,4$
KVÁZISTÁLÁ	$M_{EK\phi2} = M_{EKg0} + M_{EKg1}$	$\Phi_{2TS} = 0$	$\Phi_{2UDL} = 0$

Tab.15 Prehľad získaných kombinací MSP

MSU						
hs	6_10		6_10_a		6_10_b	
m	POLE	PODPORA	POLE	PODPORA	POLE	PODPORA
0.7	1290.638	-1683.32	1079.013	-1486.81	1189.401	-1503.67

6_10	$6.10_Y_G * (M_{EKg0} + M_{EKg1}) + Y_Q * M_{EKgr1a}$	$Y_G = 1,35$
6_10.A	$10A_Y_G * (M_{EKg0} + M_{EKg1}) + Y_Q * (\Phi_1 * M_{EKTS} + \Phi_1 * M_{EKUDL} + M_{EKCHO})$	$Y_Q = 1,36$
6_10.B	$6.10_X * Y_G * (M_{EKg0} + M_{EKg1}) + Y_Q * M_{EKgr1a}$	$X = 0,85$

Tab.16 Prehľad získaných kombinací MSU

10. Prierezové charakteristiky

Pri výpočtu krátkodobých ztrát předpětí se počítá s oslabeným průřezem

Je to dáno tím, že v době předpínání není výztuž zainjektovaná

Průřezové charakteristiky byly vypočítány ručně

h=	0.7	m
b=	1	m
r_k =	0.0335	m
d_k =	0.067	m
c =	0.09	m

$A_D = 2 \times \pi \times r_k^2$
$A_{cr} = A_c - \Sigma A_d$
$A_D = (\pi \times d_k^2) / 4$
$A_p = A_{p1L} * n$
$I_d = \Sigma [A_d * (d_{di} - d_d)^2]$
$z_{c1,r} = A_c * Z_1 - A_D * D_D / (A_{CR})$
$z_{c2,r} = h - z_{c1,r}$
$I_{c,r} = I_c - I_d - ((A_c * A_D * (Z_{c1R} - D_D)^2) / (A_{CR}))$
$w_{cr1} = I_{c,r} / Z_{R1}$
$w_{cr2} = I_{c,r} / Z_{R2}$
$e_{pr} = Z_{R1} - (c + r_k)$

$A_D =$	0.007051	m^2
$A_{CR} =$	0.692949	m^2
$A_d =$	0.003526	m^2
$A_p =$	0.0018	m^2
$I_D =$	0	m^4
$Z_{R1} =$	0.352305	m
$Z_{R2} =$	0.347695	m
$I_{c,r} =$	0.02821	m^4
$w_{cr1} =$	0.080074	m^3
$w_{cr2} =$	0.081136	m^3
$e_{pr} =$	0.228805	m

Tab.17 Prierezové charakteristiky

11. Ztráty předětí

Předpínací síla není konstantní, ale mění se po délce kabelu a v čase.

Je třeba znát hodnotu předpínací síly v každém místě kabelu

Ztráty byly počítány v programu Microsoft Excel podrobný výpočet ztrát je přiložen v příloze P.3.2.1 – Statický výpočet - ZTRÁTY

11.1 Krátkodobé ztráty

Do okamžitých (výrobních) ztrát je započítána ztráta

- * třením kabelu
- * pokluzem při kotvení
- * pružným přetvořením betonu při postupném napínání
- * relaxací předpínací výztuže

11.2 Dlouhodobé ztráty

Do dlouhodobých ztrát je započítána ztráta

- * smršťováním betonu
- * pružným přetvořením betonu
- * relaxací předpínací výztuže
- * dotvarováním betonu

12. MEZNÝ STAV POUŽITELNOSTI

Mostné konštrukcie sa musia posúdiť na mezný stav únosnosti a taktiež na mezný stav použiteľnosti. Mezný stav použiteľnosti počítame aby bola zabezpečená bezproblémová funkčnosť konštrukcie.

Mezne stavy použiteľnosti

- × OMEZENÍ NAPĚTÍ
- × OMEZENÍ TRHLIN

12.1. OMEZENÍ NAPĚTÍ

Omezení napětí se stanovuje pro beton v tlaku a tahu a pro velikost napětí v předpínací výztuži.

12.1.1 OMEZENÍ NAPĚTÍ V BETONU

- jsou uvažovány v čase , t_0 (V čase zakotvení)
- jsou uvažovány v čase , t_{00} (předpokládané ukončení životnosti)

12.2. OMEZENÍ TRHLIN

- jsou uvažovány v čase , t_{00} v časté kombinaci kde zatažení je redukováno součinitelem

MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI - POLE

- × OMEZENÍ NAPĚTÍ
- × OMEZENÍ TRHLIN

VARIANTA h = 0.7 m

OMEZENÍ NAPĚTÍ V PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽI **$\sigma_{Pm,0} \leq 0,75 f_{pk}$**

$\sigma_{Pm,0}$	1336.811	Mpa	
f_{pk}	1860	MPa	
$0,75 f_{pk}$	1395	MPa	
1336.811	\leq	1395	Vyhovuje

 $\sigma_{Pm,00} \leq 0,75 f_{pk}$

$\sigma_{Pm,00}$	1222.950	Mpa	
f_{pk}	1860	MPa	
$0,75 f_{pk}$	1395	MPa	
1222.95	\leq	1395	Vyhovuje

12.1.1. OMEZENÍ NAPĚTÍ V BETONU

CHARAKTERISTICKÁ t_{00}

POLE

$h =$	0.7	m
M_{ek}	956.0283	kNm
P'_{m00}	2240.468	kN

$$\sigma_{C1} = -P'_{m00}/A_{cr} - ((P'_{m00} \times e_{pr})/w_{cr1}) + M_{ek}/w_{cr1}$$

$$\sigma_{C2} = -P'_{m00}/A_{cr} + ((P'_{m00} \times e_{pr})/w_{cr2}) - M_{ek}/w_{cr2}$$

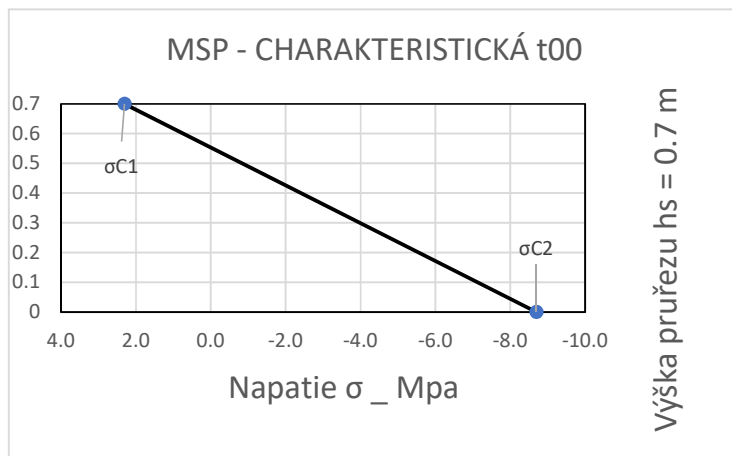
$$\sigma_{C1} = \frac{-2240.47}{0.6929} - \frac{2240.468 \times 0.2288}{0.0801} + \frac{956.028}{0.0801} =$$

$$\sigma_{C1} = 2.3 \text{ Mpa} \leq 2.9 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{C2} = \frac{-2240.47}{0.6929} + \frac{2240.468 \times 0.2288}{0.0811} - \frac{956.028}{0.0811} =$$

$$\sigma_{C2} = -8.7 \text{ Mpa}$$

$$|-8.7| \leq 0.6f_{ck} = 18.0 \text{ Mpa}$$

GRAF 3: CHARAKTERISTICKÁ t_{00}

KVAZISTÁLÁ t₀₀

$$\begin{array}{lll} M_{ek\psi_2} & 499.9364 & \text{kNm} \\ P_{m00} & 2201.31 & \text{kN} \end{array}$$

$$\sigma_{C1} = -P_{m00}/A_{cr} - ((P_{m00} \times e_{pr})/w_{cr1}) + M_{ek\psi_2}/w_{cr1}$$

$$\sigma_{C2} = -P_{m00}/A_{cr} + ((P_{m00} \times e_{pr})/w_{cr2}) - M_{ek\psi_2}/w_{cr2}$$

$$\sigma_{C1} = \frac{-2201.31}{0.6929} - \frac{2201.31 \times 0.2288}{0.0801} + \frac{499.936}{0.0801} =$$

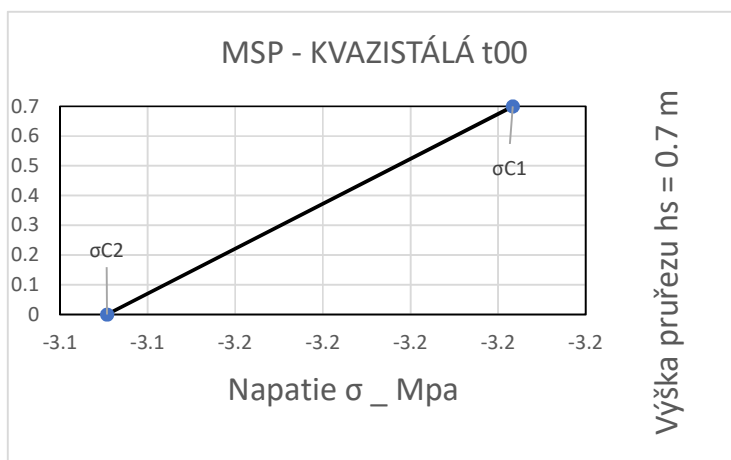
$$\sigma_{C1} = -3.2 \text{ Mpa}$$

$$|-3.2| \leq 0.45f_{ck} = 13.5 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{C2} = \frac{-2201.31}{0.6929} + \frac{2201.31 \times 0.2288}{0.0811} - \frac{499.936}{0.0811} =$$

$$\sigma_{C2} = -3.1 \text{ Mpa}$$

$$|-3.1| \leq 0.45f_{ck} = 13.5 \text{ Mpa}$$

GRAF 4: KVAZISTÁLÁ t₀₀

CHARAKTERISTICKÁ t_0

$$\begin{aligned} M_{g0k} & 398.9611 & \text{kNm} \\ P_{m0} & 2406.26 & \text{kN} \end{aligned}$$

$$\sigma_{C1} = -P_{m0}/A_{cr} - ((P_{m0} \times e_{pr})/w_{cr1}) + M_{g0k}/w_{cr1}$$

$$\sigma_{C2} = -P_{m0}/A_{cr} + ((P_{m0} \times e_{pr})/w_{cr2}) - M_{g0k}/w_{cr2}$$

$$\sigma_{C1} = \frac{-2406.26}{0.6929} - \frac{2406.26 * 0.2288}{0.0801} + \frac{398.961}{0.0801} =$$

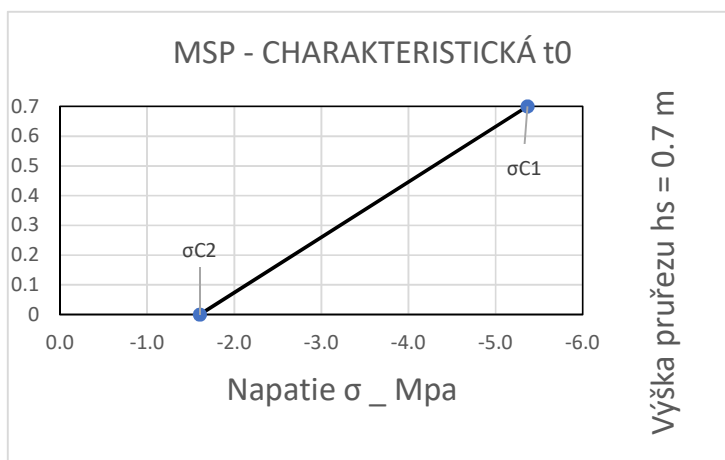
$$\sigma_{C1} = -5.4 \text{ Mpa}$$

$$|-5.4| \leq 0.6f_{ck} = 18.0 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{C2} = \frac{-2201.31}{0.6929} + \frac{2201.31 * 0.2288}{0.0811} - \frac{499.936}{0.0811} =$$

$$\sigma_{C2} = -1.6 \text{ Mpa}$$

$$|-1.6| \leq 0.6f_{ck} = 18.0 \text{ Mpa}$$



GRAF 5: CHARAKTERISTICKÁ t_0

12.2. OMEZENÍ TRHLIN

ČÁSTÁ t_{00}

$$M_{ek\psi 1} \quad 799.2686 \quad \text{kNm}$$

$$P''_{m00} \quad 2227.009 \quad \text{kN}$$

$$\sigma_{C1} = -P''_{m00}/A_{cr} - ((P''_{m00} \times e_{pr})/w_{cr1}) + M_{ek\psi 1}/w_{cr1}$$

$$\sigma_{C2} = -P''_{m00}/A_{cr} + ((P''_{m00} \times e_{pr})/w_{cr2}) - M_{ek\psi 1}/w_{cr2}$$

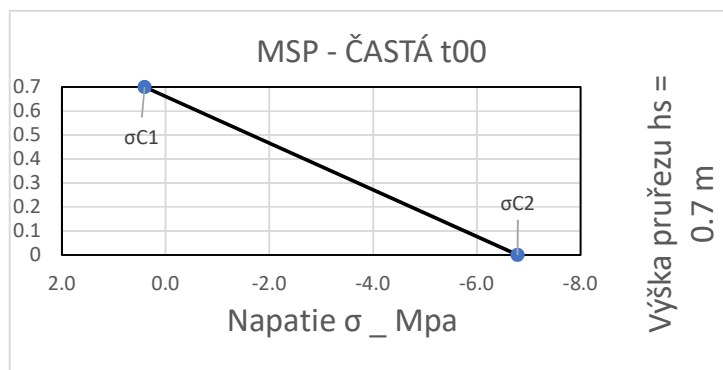
$$\sigma_{C1} = \frac{-2227.01}{0.6929} - \frac{2227.009 \times 0.2288}{0.0801} + \frac{799.269}{0.0801} =$$

$$\sigma_{C1} = 0.4 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{C2} = \frac{-2201.31}{0.6929} + \frac{2201.31 \times 0.2288}{0.0811} - \frac{499.936}{0.0811} =$$

$$\sigma_{C2} = -6.8 \text{ Mpa}$$

$$|-6.8| \leq 0.6f_{ck} = 18.0 \text{ Mpa}$$

GRAF 6: ČÁSTÁ t_{00}

$$f_{ctm}, f_{max} = \{(1,6-h/1000) \times f_{ctm}, f_{ctm}\}$$

$$\begin{array}{lll} h & 700 & \text{mm} \\ f_{ctm} & 2.9 & \text{Mpa} \\ \max\{2,61; 2,9\} & \rightarrow & \max 2,9 \end{array} \quad \text{C30/37}$$

max	2.61	2.9
-----	------	------------

MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI - PODPORA

- × OMEZENÍ NAPĚTÍ
- × OMEZENÍ TRHLIN

VARIANTA h = 0.7 m

OMEZENÍ NAPĚTÍ V PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽI **$\sigma_{Pm,0} \leq 0,75 f_{pk}$**

$\sigma_{Pm,0}$	1336.811	Mpa	
f_{pk}	1860	MPa	
$0,75 f_{pk}$	1395	MPa	
1336.811	\leq	1395	Vyhovuje

 $\sigma_{Pm,00} \leq 0,75 f_{pk}$

$\sigma_{Pm,00}$	1222.950	Mpa	
f_{pk}	1860	MPa	
$0,75 f_{pk}$	1395	MPa	
1222.95	\leq	1395	Vyhovuje

12.1.1. OMEZENÍ NAPĚTÍ V BETONU

CHARAKTERISTICKÁ t_{00}

PODPORA

$h =$	0.7	m
M_{ek}	1246.907	kNm
P'_{m00}	2297.668	kN

$$\sigma_{C1} = -P'_{m00}/A_{cr} - ((P'_{m00} \times e_{pr})/w_{cr1}) + M_{ek}/w_{cr1}$$

$$\sigma_{C2} = -P'_{m00}/A_{cr} + ((P'_{m00} \times e_{pr})/w_{cr2}) - M_{ek}/w_{cr2}$$

$$\sigma_{C1} = \frac{-2297.67}{0.6929} - \frac{2297.668 \times 0.2288}{0.0801} + \frac{1246.907}{0.0801} =$$

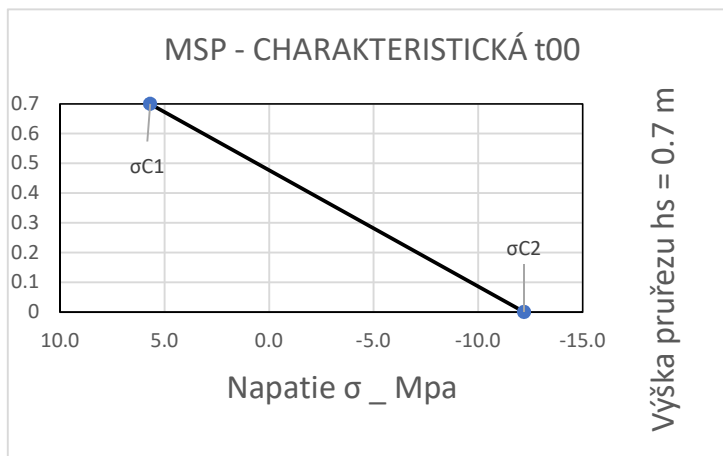
$$\sigma_{C1} = 5.7 \text{ Mpa} \leq 2.9 \text{ Mpa}$$

Nevyhovuje vznik trhlin

$$\sigma_{C2} = \frac{-2297.67}{0.6929} + \frac{2297.668 \times 0.2288}{0.0811} - \frac{1246.907}{0.0811} =$$

$$\sigma_{C2} = -12.2 \text{ Mpa}$$

$$|-12.2| \leq 0.6f_{ck} = 18.0 \text{ Mpa}$$

GRAF 7: CHARAKTERISTICKÁ t_{00}

KVAZISTÁLÁ t_{00}

$$M_{ek\psi_2} = 887.1661 \quad \text{kNm}$$

$$P_{m00} = 2266.782 \quad \text{kN}$$

$$\sigma_{C1} = -P_{m00}/A_{cr} - ((P_{m00} \times e_{pr})/w_{cr1}) + M_{ek\psi_2}/w_{cr1}$$

$$\sigma_{C2} = -P_{m00}/A_{cr} + ((P_{m00} \times e_{pr})/w_{cr2}) - M_{ek\psi_2}/w_{cr2}$$

$$\sigma_{C1} = \frac{-2266.78}{0.6929} - \frac{2266.782 \times 0.2288}{0.0801} + \frac{887.166}{0.0801} =$$

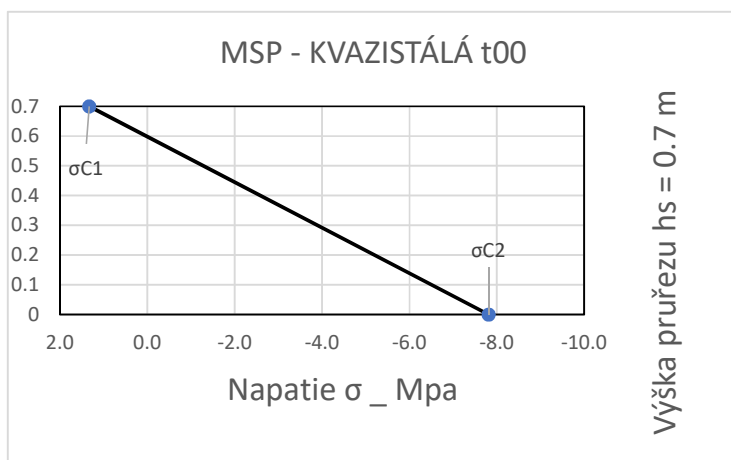
$$\sigma_{C1} = 1.3 \quad \text{Mpa}$$

$$1.3 \leq 0.45f_{ck} = 13.5 \quad \text{Mpa}$$

$$\sigma_{C2} = \frac{-2201.31}{0.6929} + \frac{2201.31 \times 0.2288}{0.0811} - \frac{499.936}{0.0811} =$$

$$\sigma_{C2} = -7.8 \quad \text{Mpa}$$

$$|-7.8| \leq 0.45f_{ck} = 13.5 \quad \text{Mpa}$$

GRAF 8: KVAZISTÁLÁ t_{00}

CHARAKTERISTICKÁ t_0

$$\begin{array}{lll} M_{g0k} & 707.9788 & \text{kNm} \\ P_{m0} & 2436.63 & \text{kN} \end{array}$$

$$\sigma_{C1} = -P_{m0}/A_{cr} - ((P_{m0} \times e_{pr})/w_{cr1}) + M_{g0k}/w_{cr1}$$

$$\sigma_{C2} = -P_{m0}/A_{cr} + ((P_{m0} \times e_{pr})/w_{cr2}) - M_{g0k}/w_{cr2}$$

$$\sigma_{C1} = \frac{-2436.63}{0.6929} - \frac{2436.63 * 0.2288}{0.0801} + \frac{707.979}{0.0801} =$$

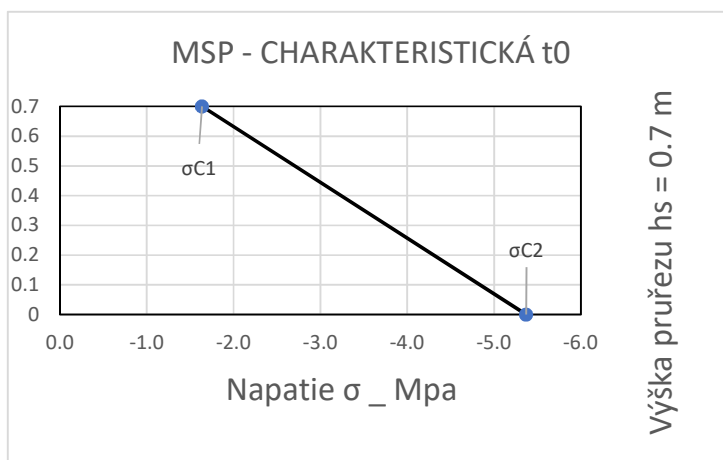
$$\sigma_{C1} = -1.6 \text{ Mpa}$$

$$|-1.6| \leq 0.6f_{ck} = 18.0 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{C2} = \frac{-2201.31}{0.6929} + \frac{2201.31 * 0.2288}{0.0811} - \frac{499.936}{0.0811} =$$

$$\sigma_{C2} = -5.4 \text{ Mpa}$$

$$|-5.4| \leq 0.6f_{ck} = 18.0 \text{ Mpa}$$

GRAF 9: CHARAKTERISTICKÁ t_0

12.2. OMEZENÍ TRHLIN

ČÁSTÁ t₀₀M_{ekψ1} 1101.338 kNmP''_{m00} 2285.17 kN

$$\sigma_{C1} = -P''_{m00}/A_{cr} - ((P''_{m00} \times e_{pr})/w_{cr1}) + M_{ek\psi1}/w_{cr1}$$

$$\sigma_{C2} = -P''_{m00}/A_{cr} + ((P''_{m00} \times e_{pr})/w_{cr2}) - M_{ek\psi1}/w_{cr2}$$

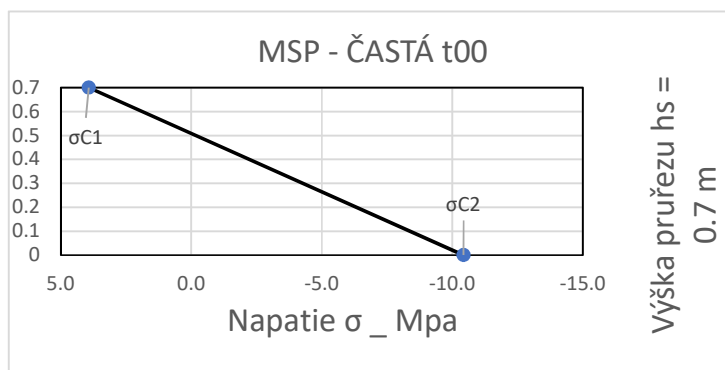
$$\sigma_{C1} = \frac{-2285.17}{0.6929} - \frac{2285.17 \times 0.2288}{0.0801} + \frac{1101.338}{0.0801} =$$

$$\sigma_{C1} = 3.9 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{C2} = \frac{-2201.31}{0.6929} + \frac{2201.31 \times 0.2288}{0.0811} - \frac{499.936}{0.0811} =$$

$$\sigma_{C2} = -10.4 \text{ Mpa}$$

$$|-10.4| \leq 0.6f_{ck} = 18.0 \text{ Mpa}$$

GRAF 10: ČÁSTÁ t₀₀

$$f_{ctm}, f_{max} = \{(1,6-h/1000) \times f_{ctm}, f_{ctm}\}$$

h 700 mm

f_{ctm} 2.9 Mpa

max{2,61;2,9} → max 2,9

C30/37

max

2.61

2.9

13. MEZNÝ STAV ÚNOSNOSTI

Mezní stav únosnosti slouží k posouzení předpjaté konstrukce vůči návrhové kombinaci zatížení.

- * posouzení na ohyb
- * posouzení na posouvající sílu

13.1. POSOUZENÍ KONSTRKCE NA OHYB

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI -POLE

DIMENZOVÁNÍ PODÉLNÝ SMĚR

13. 1.1 Stanovenie základného napätia

$$\sigma_{pt}^0 = \sigma_{pt} - (E_p/E_{cm}) \times \sigma_c$$

$$\sigma_{pt} = \sigma'_{p00} = P'_{m00}/A_p$$

$$= \frac{2240.648}{0.0018} = 1244.8044 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_c = N_{EK}/A_{CR} + (M_{EK}/I_{CR}) \times e_{PR}$$

$$= \frac{-2240.468}{0.692949} + \frac{444.081}{0.02821} * 0.22805$$

$$= 0.357 \text{ Mpa}$$

$$N_{EK} = N_{FK} + N_{PK}$$

$$= 0 + (-2240.468) =$$

$$= -2240.648 \text{ kN}$$

$$M_{EK} = (M_{FK} + M_{PK}) \times e_{PR}$$

$$= 956.0283 - 2240.468 \times 0.2285$$

$$= 444.081 \text{ kN.m}$$

$$\sigma_{pt}^0 = \sigma_{pt} - (E_p/E_{cm}) \times \sigma_c$$

$$= 1244.804 - \frac{195}{32} \times 0.357$$

$$= 1242.629 \text{ kN}$$

$$P_{t00}^0 = A_p \times \sigma_{pt}^0$$

$$= 0.0018 \times 1242.69$$

$$= 2236.842 \text{ kN}$$

13. 1.2 Návrhová kombinácia 6.10b

$$\xi \cdot Y_F \cdot (M_{g0K} + M_{g1K}) + Y_F \cdot M_{gr1a} + Y_P \cdot (M_{pk}) =$$

$$= 0.85 \cdot 1.35 \cdot (398.961 + 100.975) + 1.35 \cdot (299.332) + 1 \cdot (-2236.842 \cdot 0.2288) =$$

$$= 465.985 \text{ kN.m}$$

$$N_{ED} = N_{FD} + N_{PD} = 0 + Pt^0_{00} \cdot Y_p =$$

$$= 0 + 1 \cdot 2236.842 =$$

$$= -2236.842 \text{ kN}$$

13. 1.3 Parametry pracovního diagramu předpínací výztuže

$$\epsilon_{py} = f_{pd} / E_p = 1426.087 / 195$$

$$= 7.313 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{pt}^0 = \sigma_{pt}^0 / E_p = 1242.629 / 195 =$$

$$6.372 \text{ ‰}$$

$$\Delta \sigma_p = f_{pd} - \sigma_{pt}^0 = 1426.087 - 1242.6289 =$$

$$= 183.4581 \text{ Mpa}$$

$$\Delta \epsilon_p = \Delta \sigma_p / E_p = 183.4581 / 195 =$$

$$= 0.941 \text{ ‰}$$

$$\text{Kontrola } \epsilon_{py} - \epsilon_{pt}^0 = 7.313 - 6.372 = 0.941 \text{ ‰} \quad 58$$

13. 1.4 Určenie neutrálnej osy

$$\Delta F_p = A_p \times \Delta \sigma_p = 0.0018 \times 183.45807 = 330.225 \text{ kN}$$

$$N_{ED} = N_{RD} \quad N_{PD} = F_{CC} - \Delta F_p$$

$$N_{ED} = N_{PD} \quad F_{CC} = N_{PD} + \Delta F_p$$

$$A_{CC} = (N_{PD} + \Delta F_p) / f_{cd} = 2236.842 + 330.225 / 18 = 0.143 \text{ m}^2$$

$$A_{CC} = \lambda \cdot x \cdot b$$

$$x = A_{CC} / (\lambda \cdot b) = \frac{0.143}{0.8 \cdot 1} = 0.179 \text{ m}$$

$$\lambda \cdot x = 0.143 \text{ m}$$

13. 1.5 Overenie využítí

$$d = h - d_1 = 0.7 - 0.1235 = 0.5765 \text{ m}$$

$$x_{bal} = (d \times |\epsilon_{cu3}|) / (|\epsilon_{cu3}| + (\epsilon_{pd} - \epsilon_p^0)) = \frac{0.5765 \cdot |3.5|}{|3.5| + (7.313 - 6.372)} = 0.4543 \text{ m} > 0.179 \text{ m}$$

13. 1.6 Overenie únosnosti konštrukcie

$$\begin{aligned}
 z_{cc} &= z_2 - (1/2 \times \lambda_x) &= \frac{0.7}{2} - \frac{1 \times 0.143}{2} &= \\
 & &= 0.2785 &\text{ m} \\
 z_{pt} &= c_{pr} &= 0.22805 &\text{ m} \\
 M_{RD} &= F_{cc} \times z_{cc} + \Delta F_p \times z_{pt} &= 0.143 \times 18 \times 0.2785 + 330.225 \times 0.22805 &= \\
 & &= 792.1668 &\text{ kN.m} > 465.985 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Návrh betonárske výztuže není nutno navrhnout betonarskú výztuž

13. 1.6 Návrh betonárskej výztuže

PODÉLNÝ NOSNÁ

Minimální plocha výztuže

$$\begin{aligned}
 A_{smin} &= 0.26 \times (f_{ctm}/f_{yk}) \times b \times d &= \\
 &= 0.26 \times \frac{2.9}{500} \times 1 \times 0.5765 &= \\
 &= 0.00087 &\text{ m}^2
 \end{aligned}$$

a současně

$$\begin{aligned}
 A_{smin} &= 0.0013 \times b \times d &= \\
 &= 0.0013 \times 1 \times 0.5765 &= 0.00075 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Maximální plocha výztuže

$$\begin{aligned}
 A_{smax} &= 0.04 \times A_c &= 0.04 \times 0.143 &= \\
 & &= 0.00572 &\text{ m}^2 \\
 \text{VOLÍM} &\rightarrow \emptyset 10/150 \text{ mm} && \\
 &\rightarrow A_s 5.24 \text{ m}^2 &< A_{smax} 5.72 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Maximální vzdálenost výztuže

$$s_{\text{maxslabs}} < 2 \cdot h = 150 < 1400$$

$$s_{\text{maxslabs}} < 300 \text{ mm} = 150 < 300$$

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI - PODPORA

DIMENZOVÁNÍ PODÉLNÝ SMĚR

13. 1.1 Stanovenie základného napätia

$$\sigma_{pt}^0 = \sigma_{pt} - (E_p/E_{cm}) \times \sigma_c$$

$$\sigma_{pt} = \sigma'_{p00} = P'_{m00}/A_p$$

$$= \frac{2297.668}{0.0018} = 1276.482 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_c = N_{EK}/A_{CR} + (M_{EK}/I_{CR}) \times e_{PR}$$

$$= \frac{-2297.67}{0.692949} + \frac{721.893}{0.02821} * 0.22805$$

$$= 2.520 \text{ Mpa}$$

$$N_{EK} = N_{FK} + N_{PK}$$

$$= 0 + (-2297.668) =$$

$$= -2297.67 \text{ kN}$$

$$M_{EK} = (M_{FK} + M_{PK}) \times e_{PR}$$

$$= 1246.91 - 2297.668 \times 0.2285$$

$$= 721.893 \text{ kN.m}$$

$$\sigma_{pt}^0 = \sigma_{pt} - (E_p/E_{cm}) \times \sigma_c$$

$$= 1276.482 - \frac{195}{32} \times 2.52$$

$$= 1261.126 \text{ kN}$$

$$P_{t00}^0 = A_p \times \sigma_{pt}^0$$

$$= 0.0018 \times 1261.126$$

$$= 2270.027 \text{ kN}$$

13. 1.2 Návrhová kombinácia 6.10b

$$\xi \cdot Y_F \cdot (M_{g0K} + M_{g1K}) + Y_F \cdot M_{gr1a} + Y_P \cdot (M_{pk}) =$$

$$= 0.85 \cdot 1.35 \cdot (707.978 + 179.1873) + 1.35 \cdot (214.1717) + 1 \cdot (-2270.027 \cdot 0.2288) =$$

$$= 787.772 \text{ kN.m}$$

$$N_{ED} = N_{FD} + N_{PD} = 0 + Pt^0_{00} \cdot Y_p =$$

$$= 0 + 1 \cdot 2270.027 =$$

$$= -2270.03 \text{ kN}$$

13. 1.3 Parametry pracovního diagramu předpínací výztuže

$$\epsilon_{py} = f_{pd} / E_{pd} = 1426.087 / 195$$

$$= 7.313 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{pt}^0 = \sigma_{pt}^0 / E_p = 1261.126 / 195 =$$

$$6.467 \text{ ‰}$$

$$\Delta \sigma_p = f_{pd} - \sigma_{pt}^0 = 1426.087 - 1261.126 =$$

$$= 164.9613 \text{ Mpa}$$

$$\Delta \epsilon_p = \Delta \sigma_p / E_p = 164.9613 / 195 =$$

$$= 0.846 \text{ ‰}$$

$$\text{Kontrola } \epsilon_{py} - \epsilon_{pt}^0 = 7.313 - 6.467 = 0.846 \text{ ‰} \quad 63$$

13. 1.4 Určenie neutrálnej osy

$$\Delta F_p = A_p \times \Delta \sigma_p = 0.0018 \times 164.9613 = 296.930 \text{ kN}$$

$$N_{ED} = N_{RD} \quad N_{PD} = F_{CC} - \Delta F_p$$

$$N_{ED} = N_{PD} \quad F_{CC} = N_{PD} + \Delta F_p$$

$$A_{CC} = (N_{PD} + \Delta F_p) / f_{cd} = 2270.027 + 296.930 / 18 = 0.143 \text{ m}^2$$

$$A_{CC} = \lambda \cdot x \cdot b$$

$$x = A_{CC} / (\lambda \cdot b) = \frac{0.143}{0.8 \cdot 1} = 0.179 \text{ m}$$

$$\lambda \cdot x = 0.143 \text{ m}$$

13. 1.5 Overenie využití

$$d = h - d_1 = 0.7 - 0.1235 = 0.5765 \text{ m}$$

$$x_{bal} = (d \times |\epsilon_{cu3}|) / (|\epsilon_{cu3}| + (\epsilon_{pd} - \epsilon_p^0)) = \frac{0.5765 \cdot |3.5|}{|3.5| + (7.313 - 6.467)} = 0.4643 \text{ m} > 0.179 \text{ m}$$

13. 1.6 Overenie únosnosti konštrukcie

$$\begin{aligned}
 z_{cc} &= z_2 - (1/2 \times \lambda_x) &= \frac{0.7}{2} - \frac{1 \times 0.143}{2} &= \\
 & &= 0.2785 &\text{ m} \\
 z_{pt} &= c_{pr} &= 0.22805 &\text{ m} \\
 M_{RD} &= F_{cc} \times z_{cc} + \Delta F_p \times z_{pt} &= 0.143 \times 18 \times 0.2785 + 296.93 \times 0.22805 &= \\
 & &= 787.7718 &\text{ kN.m} > 471.963 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Návrh betonárske výztuže není nutno navrhnout betonarskú výztuž

13. 1.6 Návrh betonárskej výztuže

PODÉLNÝ NOSNÁ

Minimální plocha výztuže

$$\begin{aligned}
 A_{smin} &= 0.26 \times (f_{ctm}/f_{yk}) \times b \times d &= \\
 &= 0.26 \times \frac{2.9}{500} \times 1 \times 0.5765 &= \\
 &= 0.00087 &\text{ m}^2
 \end{aligned}$$

a současně

$$\begin{aligned}
 A_{smin} &= 0.0013 \times b \times d &= \\
 &= 0.0013 \times 1 \times 0.5765 &= 0.00075 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Maximální plocha výztuže

$$\begin{aligned}
 A_{smax} &= 0.04 \times A_c &= 0.04 \times 0.143 &= \\
 & &= 0.00572 &\text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{VOLÍM} &\rightarrow \emptyset 10/150 \text{ mm} &< A_{smax} &5.72 \text{ m}^c
 \end{aligned}$$

Maximální vzdálenost výztuže

$$s_{\max\text{slabs}} < 2 \cdot h = 150 < 1400$$

$$s_{\max\text{slabs}} < 300 \text{ mm} = 150 < 300$$

13.2. POSOUZENÍ KONSTRKCE NA SMYK

- POSOUVAJÍCÍ SÍLY JSOU ODEČTENY Z PROGRAMU MIDAS
- EXCENTRICITY JSOU ODMĚŘENY POMOCÍ AUTOCAD PROGRAMU

$$V_{ed} = V_{fd} + V_{pd}$$

$$V_{fd} = y_f \times V_f$$

Pole :

Podpora :

$$V_{pd} = Pd_{00}^0 \times tga$$

$$Pd_{00}^0 = 2236.842$$

$$Pd_{00}^0 = 2270.03$$

x	e _{pr} (x)	M _{fd} (x)_Kn.m	V _{fk} (x)_Kn	V _{fd} (x)_Kn	alfa	V _{pd} (x)_Kn	V _{ed} (x)_Kn
0	0	70.0865	366.005	494.106	3.63	-141.906	352.200
d	0.0366	282.9056	342.327	462.141	3.63	-141.906	320.235
9	0.2468	1189.4010	154.647	208.773	0.93	-36.3106	172.462
18	0.26	1503.6729	94.462	127.523	0	0	127.523

Rozhodnutí o vzniku trhlin

$$f_{ctd} = (\alpha_{ct} \times f_{ck0.05}) / \gamma_c = \frac{1 \times 2}{1 \times 5} = 1.33 \text{ Mpa}$$

Řez x = 0 m

$$\sigma_{c1} = - Pd_{00}^0 / A_{cr} - ((Pd_{00}^0 \times e_{pr}) / w_{cr1}) + M_{fd} / w_{cr1}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{-2236.84}{0.6929} - \frac{2236.842 \times 0.0000}{0.0801} + \frac{70.086}{0.0801} =$$

$$\sigma_{c1} = -2.4 \text{ Mpa}$$

$$| -2.4 | \leq 1.33 \text{ Mpa}$$

TRHLINY NEVZNIKNOU

Řez x = d

$$\sigma_{c1} = - Pd_{00}^0 / A_{cr} - ((Pd_{00}^0 \times e_{pr}) / w_{cr1}) + M_{fd} / w_{cr1}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{-2236.84}{0.6929} - \frac{2236.842 \times 0.0366}{0.0801} + \frac{282.906}{0.0801} =$$

$$\sigma_{c1} = -0.7 \text{ Mpa}$$

$$| -0.7 | \leq 1.33 \text{ Mpa}$$

TRHLINY NEVZNIKNOU

Řez x = 9 m

$$\sigma_{C1} = -Pd_{00}^0/A_{cr} - ((Pd_{00}^0 \times e_{pr})/w_{cr1}) + M_{fd}/w_{cr1}$$

$$\sigma_{C1} = \frac{-2236.84}{0.6929} - \frac{2236.842 \times 0.2468}{0.0801} + \frac{1189.401}{0.0801} =$$

$$\sigma_{C1} = 4.7 \text{ Mpa}$$

$$|4.7| > 1.33 \text{ Mpa}$$

VZNIK TRHLIN

Řez x = 9 m

$$\sigma_{C1} = -Pd_{00}^0/A_{cr} - ((Pd_{00}^0 \times e_{pr})/w_{cr1}) + M_{fd}/w_{cr1}$$

$$\sigma_{C1} = \frac{-2270.03}{0.6929} - \frac{2270.030 \times 0.2600}{0.0801} + \frac{1503.673}{0.0801} =$$

$$\sigma_{C1} = 8.1 \text{ Mpa}$$

$$|8.1| > 1.33 \text{ Mpa}$$

VZNIK TRHLIN

VÝPOČET PŘESNÉHO MÍSTA ZAČÁTKU TRHÁNÍ

$$x = (f_{ctd} - \sigma_{C1(0/4L)}) * ((L/4) / (\sigma_{C1(1/4L)} - \sigma_{C1(0/4L)})) =$$

$$= (1.33 + 2.4) \times \frac{36/4}{0.7 + 2.4} = 10.829 \text{ m}$$

UNOSNOST PLNÉHO PRUREZU (POSOUZENÍ K TEŽIŠTNÍ OSE)

$$A = 0.35 \text{ m}^2$$

$$S = A x a_1 = 0.35 \times 0.175 = 0.06125 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{Cd} = N_{ed}/A_{cr} \pm M_{ed}/I_{cr} * x_1 = \frac{2236.842}{0.6929} \pm \frac{70.0865}{0.02821} \times 0$$

$$= 3.228 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{Cdx=0/4L} = \sigma_{Cdx=d}$$

$$b_w = b_w - 1.2 \sum \phi_{duit} = 1 - 1.2 * 2 * 0.067 =$$

$$= 0.839 \text{ m}$$

$$V_{rdc} = I_{cr} * b_w / s * (\sqrt{f_{ctd}^2 + \alpha_e * \sigma_{Cp} * f_{ctd}})$$

$$= \frac{0.02821 \times 0.839}{0.06125} \times \sqrt{(1.33^2 + 1 \times 3.228 \times 1.33)} =$$

$$= 951.419 \text{ kN}$$

$$V_{rdc} > \frac{\max\{V_{ed,0}; V_{ed,d}\}}{\max\{352.2; 320.235\}}$$

$$V_{rdc} = 951.419 \text{ kN} > 352.2 \text{ kN}$$

Vyhovuje není potřeba smyková výztuž

UNOSNOST PRUREZU POTRHANÉHO TRHLINAMI

→ ÚNOSNOST BEZ SMYKOVÉ VÝZTUŽE

$$V_{RDC} = (C_{RDC} * K * (100 * P_I * f_{ck})^{1/3} + 0.15 * \sigma_{Cp}) * b_w * d$$

$$C_{RDC} = 0.18 / \gamma_c = \frac{0.18}{1.5} = 0.12$$

$$d = 0.5765 \text{ m}$$

$$P_I = A_{sl} / b_w * d = \frac{0.0018 + 0.002094}{0.839} \times 0.5765 = 0.00268$$

$$K = 1 + (200/d)^{0.5} = 1 + \left(\frac{200}{576.5}\right)^{0.5} =$$

$$= 1.589 < 2$$

$$\sigma_{Cp} = P_{d00} / A_{cr} = \frac{2270.03}{0.692949} = 3.276 \text{ Mpa} \quad \text{Podpora}$$

$$\sigma_{Cp} < 0.2 * f_{cd} = 0.2 * 18 = 3.6 \text{ Mpa}$$

$$V_{RDC} = (C_{RDC} * K * (100 * P_I * f_{ck})^{1/3} + 0.15 * \sigma_{Cp}) * b_w * d =$$

$$= (0.12 * 1.589 * (100 * 0.002 * 30)^{1/3} + 0.15 * 3.228) * 0.839 * 0.5765 =$$

$$= 401.7904 \text{ kN}$$

$$V_{rdc} > \max\{V_{ed,18}\}$$

$$\max\{127.523\}$$

$$V_{rdc} = 401.790 \text{ kN} > 127.523 \text{ kN} \quad \text{Vyhovuje}$$

ZÁVER

Úkolem bakalářské práce bylo navrhnout mostní desku z dodatečně předpjatého betonu o dvou polích. Předpětí bylo navrženo metodou vyrovnání zatížení. Bylo vyrovnáno 90 % stálých zatížení, které působí na konstrukci. Tloušťka desky byla uvažována v trinácti variantách. K nižším tloušťkám desek je zapotřebí větší předpínací síla, tudíž i počet navržených předpínacích lan je větší. Napětí s klesající tloušťkou roste. Dle omezujících podmínek v mezním stavu použitelnosti bylo rozhodnuto, která varianta je vhodná k předepnutí, a která již ne.

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo navrhnout předpětí dle metody vyrovnání zatížení a prokázat, která varianta je vhodná k předepnutí, a která již ne.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] KLIMEŠ, Jiří. Betonové mosty – celostátní učebnice pro vysoké školy 2, Mosty z předpjatého betonu. Vyd. 1 Praha, 1969.
- [2] STRÁSKÝ, Jiří. Betonové mosty první vydání. Praha, ŠEL 2001 103 s, Technická knihnice, Praha, ČKAIT 2001.
- [3] ČSN EN 1991-1-1, Eurokod 1. Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [4] ČSN EN 1991-2 ed. 2, Eurokód 1. Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou. Praha: Český normalizační institut, 2015
- [6] ZICH M. a kolektiv, Příklady posouzení betonových prvků dle Eurokódu, Dashofer Holding, 2010.
- [7] ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí Praha, Český normalizační institut, 2003.
- [8] Zápisky z přednášek z předmětu BL11 – Předpjatý beton.

